

Dスルー標準柱脚設計ハンドブック

2017 年 12 月改訂版



目次

1.	Dスルー標準柱脚の概要	1
1-1.	Dスルー工法の特徴.....	1
1-2.	Dスルー標準柱脚の特徴.....	1
1-3.	対象建物の構造形式.....	1
1-4.	対象とする柱サイズ.....	1
1-5.	Dスルー標準柱脚一覧表.....	2
2.	柱脚の設計フロー	3
2-1.	設計手順.....	4
2-2.	柱脚の耐力曲線.....	9
2-3.	柱脚の詳細図.....	23
3.	設計資料.....	51
3-1.	設計方針.....	51
3-2.	準拠する規準.....	51
3-3.	対象とする柱サイズ.....	52
3-4.	アンカーボルトの配置.....	53
3-5.	アンカーボルトの有効長さ	56
3-6.	d_t の計算.....	57
3-7.	回転剛性の計算.....	59
3-8.	曲げ耐力の計算.....	60
3-9.	せん断耐力の計算	68
3-10.	アンカーボルトの定着.....	74
3-11.	ベースプレートの検討.....	76
3-12.	基礎柱の破壊防止の検討	80
3-13.	基礎柱の帯筋	86
3-14.	基礎柱の最小高さ	87
4.	設計例	88
4-1.	3階建て事務所ビル	88
4-2.	ケーススタディ	101

本書は、Dスルー標準柱脚を用いた建物を設計する構造設計者向けの参考図書である。なお、本書は(一社)建築鉄骨構造技術支援協会(SASST)の技術指導を受け、その内容について構造安全性に問題がないことが評価されたものである。

本書中に記載のある「Dスルー柱脚計算システム」はDスルー施工連絡会が作成した計算プログラムで、同会のホームページよりダウンロードできる。

1. Dスルー標準柱脚の概要

1-1. Dスルー工法の特徴

Dスルー工法は、アンカーボルトの直下に丸鋼を使用したシンプルな架台を設けることで、鉄筋の干渉を回避し、コンクリート流入性を高めたアンカーボルト据え付け工法で、Dスルー施工連絡会メンバーによる一貫責任施工で高品質な柱脚を実現する。



図 1-1 Dスルー工法

1-2. Dスルー標準柱脚の特徴

Dスルー標準柱脚は、中低層の鉄骨造でよく用いられる冷間成形角形鋼管の露出柱脚を対象に、伸び能力のあるアンカーボルトの特性を活かした、低コストの柱脚である。設計の簡略化のために、柱材に対して柱脚ディテールをあらかじめ設定してあるので、既製柱脚と同様の設計が可能である。なお、Dスルー標準柱脚の設計は「建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説 改訂版（日本鋼構造協会，2011）」によっている。

1-3. 対象建物の構造形式

鉄骨造のラーメン構造とする。

1-4. 対象とする柱サイズ

冷間成形角形鋼管（BCR295）の□-200 から□-400 のうち幅厚比種別が FA の 15 種類とする。アンカーボルトの配置形式として、コーナー配置タイプと均等配置タイプがある（□-200 は両タイプ共通）。表 1-1 に対象とする柱サイズと Dスルー標準柱脚の諸元を示す。

1-5. Dスルー標準柱脚一覧表

表 1-1 Dスルー標準柱脚一覧表

No.	タイプ	名称	柱断面	アンカーボルト				ベースプレート		基礎柱				回転剛性
				ねじの呼び	配置タイプ	有効長さ	全長	幅	厚さ	幅	最小高さ	立上り筋※	帯筋	K _{BS} (kNm/rad)
1	共通	DB-200-9	□-200×200×9	M30	4本	613.5	750	350	32	500	700	8- D16	D10@100	10,000
2		DB-200-12	□-200×200×12	M36	4本	736.0	900	350	36	500	850	8- D19	D10@100	12,200
3	コーナー配置	DB-250-9A	□-250×250×9	M27	8本(隅切)	551.0	675	430	32	630	650	12- D16	D10@100	25,800
4		DB-250-12A	□-250×250×12	M30	8本(隅切)	613.5	750	450	36	650	700	12- D16	D10@100	29,500
5		DB-250-16A	□-250×250×16	M33	8本(隅切)	677.5	825	450	36	650	800	12- D19	D10@100	32,200
6		DB-300-12A	□-300×300×12	M33	8本(隅切)	677.5	825	500	36	700	800	12- D19	D10@100	45,300
7		DB-300-16A	□-300×300×16	M36	8本(隅切)	736.0	900	510	36	710	850	12- D19	D10@100	50,100
8		DB-300-19A	□-300×300×19	M39	8本(隅切)	800.0	975	520	40	720	950	12- D22	D13@100	54,100
9		DB-350-12A	□-350×350×12	M36	8本(隅切)	736.0	900	560	36	760	850	12- D19	D13@100	66,800
10		DB-350-16A	□-350×350×16	M39	8本(隅切)	800.0	975	570	40	770	950	12- D22	D13@100	72,300
11		DB-350-19A	□-350×350×19	M42	8本(隅切)	858.5	1050	590	45	790	1050	12- D25	D13@100	78,200
12		DB-350-22A	□-350×350×22	M45	8本(隅切)	922.5	1125	610	45	810	1100	12- D25	D13@100	85,600
13		DB-400-16A	□-400×400×16	M36	12本(隅3本)	736.0	900	610	36	810	850	16- D22	D13@100	130,000
14		DB-400-19A	□-400×400×19	M39	12本(隅3本)	800.0	975	620	40	820	950	16- D22	D13@100	141,000
15		DB-400-22A	□-400×400×22	M42	12本(隅3本)	858.5	1050	640	45	840	1050	16- D25	D13@100	153,000
16	均等配置	DB-250-9B	□-250×250×9	M27	8本(均等)	551.0	675	430	32	630	650	12- D16	D10@100	24,000
17		DB-250-12B	□-250×250×12	M30	8本(均等)	613.5	750	450	36	650	700	12- D19	D10@100	27,000
18		DB-250-16B	□-250×250×16	M33	8本(均等)	677.5	825	450	36	650	800	12- D22	D10@100	30,000
19		DB-300-12B	□-300×300×12	M33	8本(均等)	677.5	825	500	36	700	800	12- D19	D10@100	41,000
20		DB-300-16B	□-300×300×16	M36	8本(均等)	736.0	900	510	36	710	850	12- D22	D13@100	45,000
21		DB-300-19B	□-300×300×19	M39	8本(均等)	800.0	975	520	40	720	950	12- D25	D13@100	50,000
22		DB-350-12B	□-350×350×12	M36	8本(均等)	736.0	900	560	36	760	850	12- D22	D13@100	59,000
23		DB-350-16B	□-350×350×16	M39	8本(均等)	800.0	975	570	40	770	950	12- D25	D13@100	65,000
24		DB-350-19B	□-350×350×19	M42	8本(均等)	858.5	1050	590	45	790	1050	12- D25	D13@100	71,000
25		DB-350-22B	□-350×350×22	M45	8本(均等)	922.5	1125	610	45	810	1100	16- D25	D13@100	79,000
26		DB-400-16B	□-400×400×16	M36	12本(均等)	736.0	900	610	36	810	850	16- D22	D13@100	115,000
27		DB-400-19B	□-400×400×19	M39	12本(均等)	800.0	975	620	40	820	950	16- D22	D13@100	126,000
28		DB-400-22B	□-400×400×22	M42	12本(均等)	858.5	1050	640	45	840	1050	16- D25	D13@100	137,000

柱は BCR295、アンカーボルトは ABR400、ベースプレートは SN490B、鉄筋は D16 以下 SD295A、D19 以上 SD345 とする。基礎柱のコンクリートは FC21 以上とする。

※基礎柱の立上り筋は、立上り高さが 50mm 以下の場合を示す。立上り高さが 50mm を超える場合、別途、立上り部を鉄筋コンクリート柱として設計すること。

2. 柱脚の設計フロー

Dスルー標準柱脚を用いた建築物の設計は、「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」の「付録 1-2.6 柱脚の設計の考え方」に基づき、「建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説 改訂版（日本鋼構造協会，2011）」に準拠する。

図 2-1 に「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」のフローにおけるDスルー標準柱脚の適用ルートを示す。アンカーボルトの伸び能力の有無、柱脚の保有耐力接合の判定より下記の赤矢印のフローとなる。

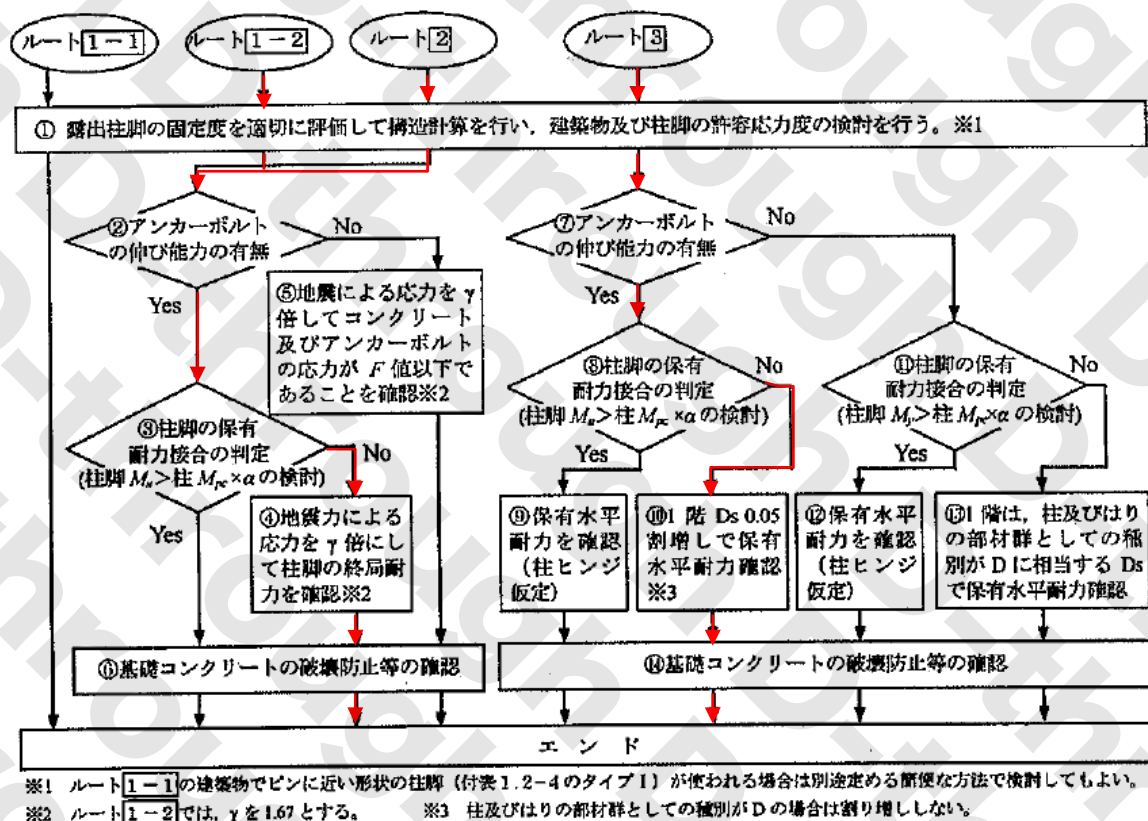


図 2-1 Dスルー標準柱脚を用いる建築物の設計フロー

2-1. 設計手順

図 2-2 にDスルー標準柱脚の設計手順を示す。

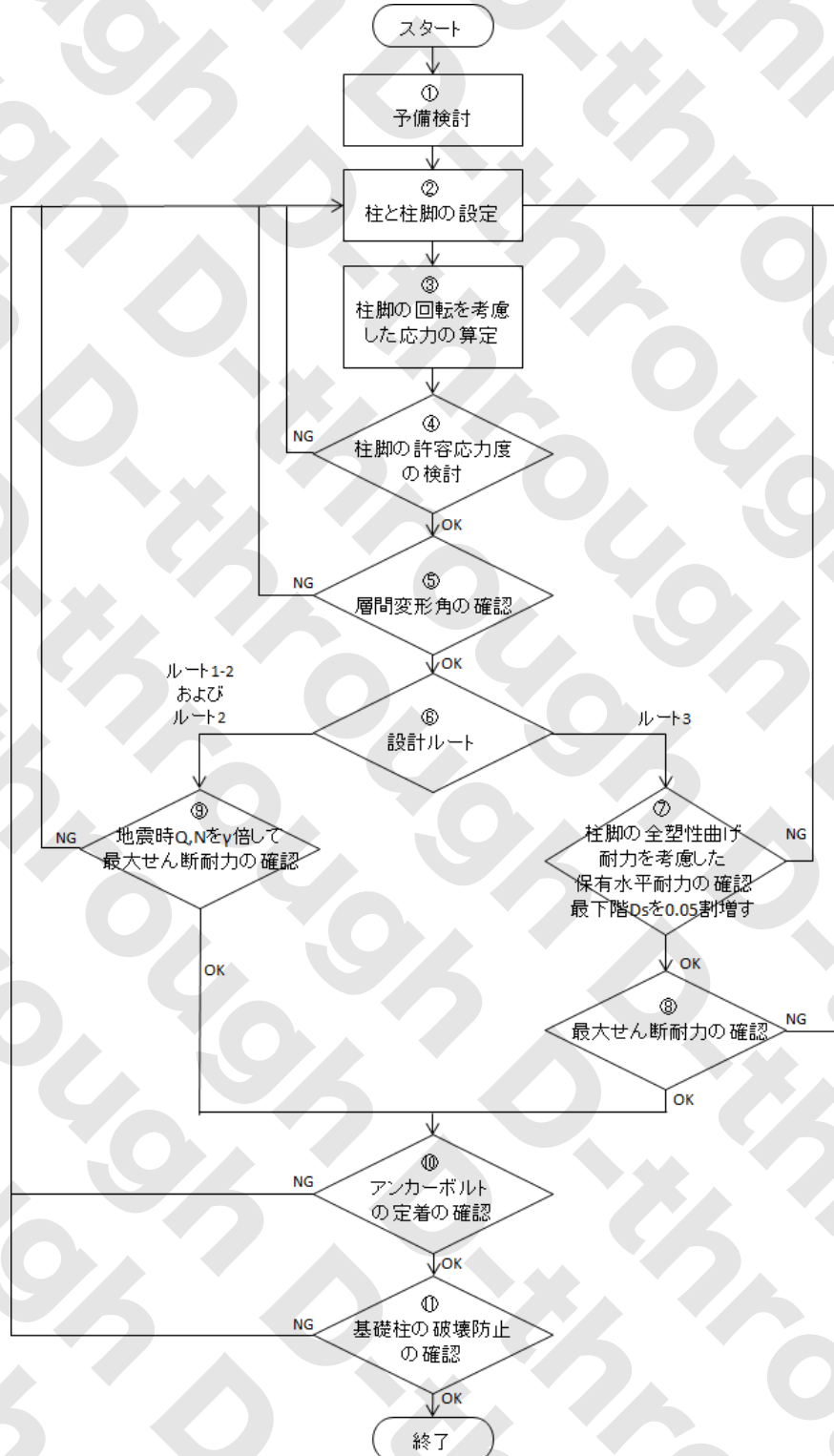


図 2-2 柱脚の設計フロー

以下に図 2-2 の①～⑪を解説する。

※印をつけた項目は「D スルー柱脚計算システム」で確認することが可能である。

① 予備検討

柱脚を固定とした骨組について概略設計を行い、柱・梁の断面を決定する。その際、最下階の層間変形角を $1/250 \sim 1/300$ 程度、ルート 3 の場合は Ds が 0.05 割増しになることを想定し Q_u/Q_{un} を $1.3 \sim 1.5$ 程度と目標値に余裕を持たせておく。

② 柱と柱脚の設定※

D スルー標準柱脚一覧表（表 1-1）より、柱サイズに対応した柱脚タイプを採用する。

③ 柱脚の回転剛性を考慮した応力の算定※

柱脚タイプに応じた柱脚の回転剛性（表 1-1 の K_{BS} ）を考慮し架構の弾性応力解析を行う。

④ 柱脚の許容応力度の検討※

柱脚の曲げ耐力曲線（図 2-3）を用いて、柱脚の回転剛性を考慮した作用軸力・作用モーメントに対する柱脚の許容軸耐力・曲げ耐力の検定を行う。また、作用せん断力に対しては本書「3-9 せん断耐力の計算」を参考に許容せん断耐力の検討を行う。許容応力度を満足しない場合は②に戻り、柱と柱脚タイプを再設定する。

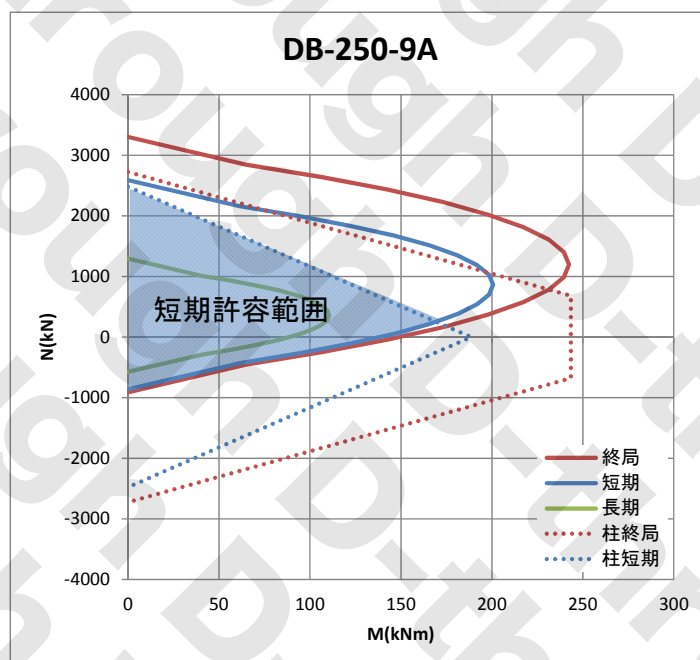


図 2-3 曲げ耐力曲線の例

⑤ 層間変形角の確認

柱脚の回転剛性を考慮した最下階の層間変形角が 1/200 以内であることを確認する。制限値を満足しない場合は②に戻り、柱と柱脚タイプを再設定する。

⑥ 設計ルート

設計者が設定した設計ルートに応じて、ルート 3 は⑦⑧へ、ルート 1-2 およびルート 2 は⑨へ進む。

⑦ 柱脚の全塑性曲げ耐力を考慮した保有水平耐力の確認

ルート 3 の場合、荷重増分解析法により柱脚に塑性ヒンジが生じるまで解析を行い、保有水平耐力計算が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。その際、最下層の D_s を 0.05 割増す。なお、柱軸力によっては部分的に柱（主材）に塑性ヒンジが生じる場合があるが、1 か所でも柱脚に塑性ヒンジが生じる場合には D_s を 0.05 割増す必要があることに注意が必要である。

⑧ 最大せん断耐力の確認※

ルート 3 の場合、せん断耐力曲線（図 2-4）を用いて、崩壊メカニズム時に作用するせん断力が最大せん断耐力以下であることを確認する。

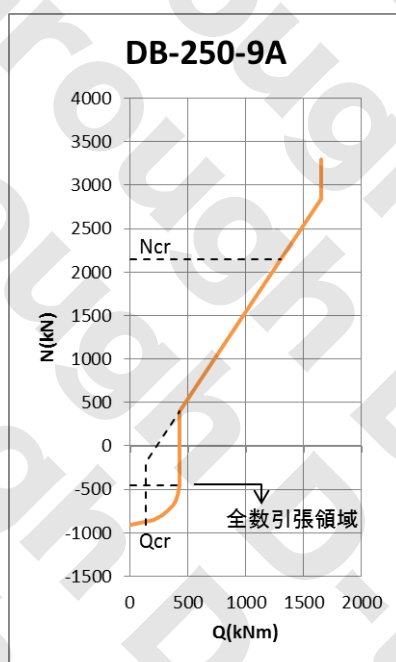


図 2-4 せん断耐力曲線の例

⑨ 地震時 Q, N を γ 倍して最大せん断耐力の確認※

ルート 1-2 またはルート 2 の場合、一次設計における地震時の軸力とせん断力を γ 倍（ルート 1-2 では $\gamma=1.67$ 、ルート 2 では $\gamma=2.0$ ）した値が最大せん断耐力以下

であることを確認する。なお、Dスルー標準柱脚は伸び能力のあるアンカーボルトを使用しているため、曲げモーメントに対する特別な検討は必要ない。

⑩ アンカーボルトの定着の確認※

せん断耐力曲線（図 2-4）で崩壊メカニズム時の軸力の範囲を確認し、全数引張領域以外はDスルー標準柱脚の基礎柱を用いてよい。

全数引張領域の場合は、次式で検討する。

$$\begin{aligned} Tu_{all} &< \phi_1 \cdot (T_c + T_w) \\ T_c &= 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_c \\ T_w &= 0.7 \cdot n_r \cdot a_r \cdot r \sigma_y \end{aligned} \quad (2-1)$$

ここで、

Tu_{all} ：全アンカーボルトの短期引張耐力

ϕ_1 ：低減係数（短期 0.6）

F_c ：コンクリート設計基準強度（=21N/mm²）

A_c ：コンクリートのコーン状破壊面積

n_r ：立上り筋の総本数

a_r ：立上り筋 1 本の断面積

$r \sigma_y$ ：立上り筋の降伏強度（D19 以上=345N/mm²、D16 以下=295N/mm²）

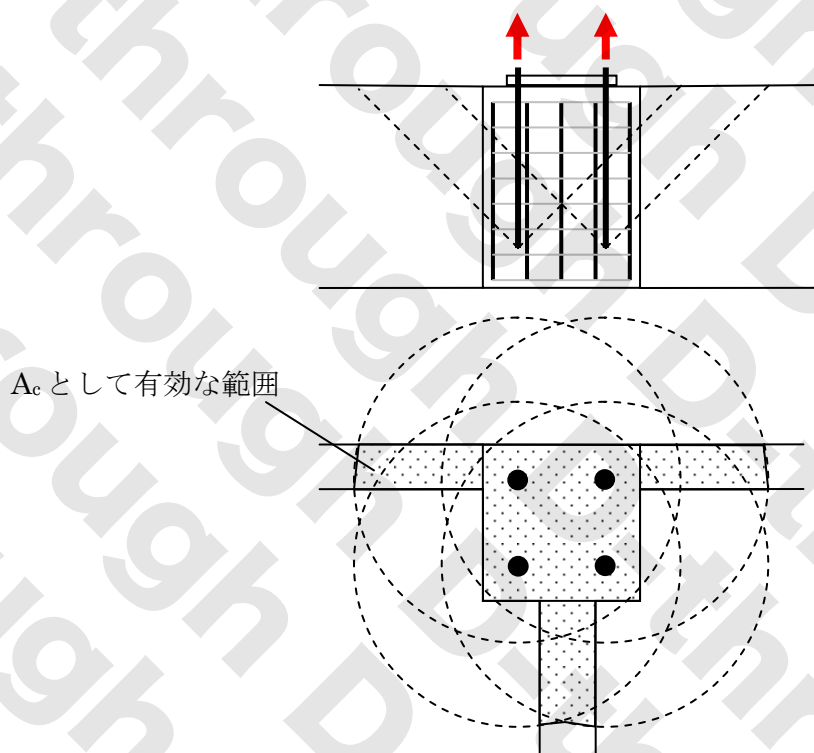


図 2-5 コーン状破壊面積

⑪ 基礎柱の破壊防止の確認※

柱脚の立上り高さ (h_f) が 50mm 以下の場合、Dスルー標準柱脚の基礎柱を用いてよい。ただし、建物外周部の柱脚は、せん断耐力曲線で崩壊メカニズム時の軸力とせん断力が限界軸力 (N_{cr}) と限界せん断力 (Q_{cr}) で決まる適用範囲の中に入っていることを確認する。適用範囲を超える場合は基礎柱サイズを大きくして基礎柱の破壊を防止する必要がある。(本書「3-12 基礎柱の破壊防止の検討」参照)

また、柱脚の立上り高さ (h_f) が 50mm より大きい場合は、建物外周の柱脚と同様の検討を行った上で、立上り部を「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会, 2010)」等に基づいて鉄筋コンクリート柱として設計(断面算定にアンカーボルトは考慮しない)し、四隅の立上り筋上端を 180 度フック付きとする。

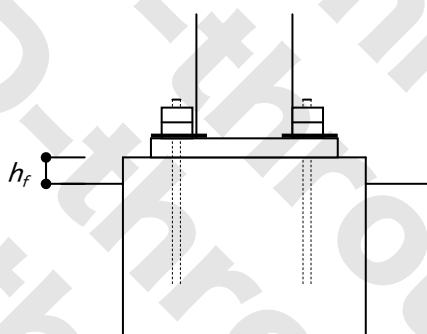


図 2-4 柱脚の立上り高さ

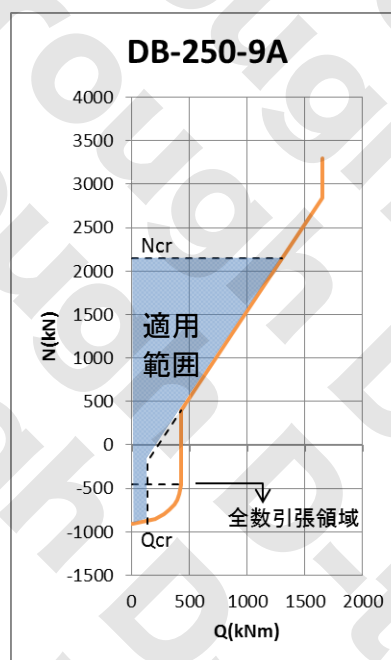
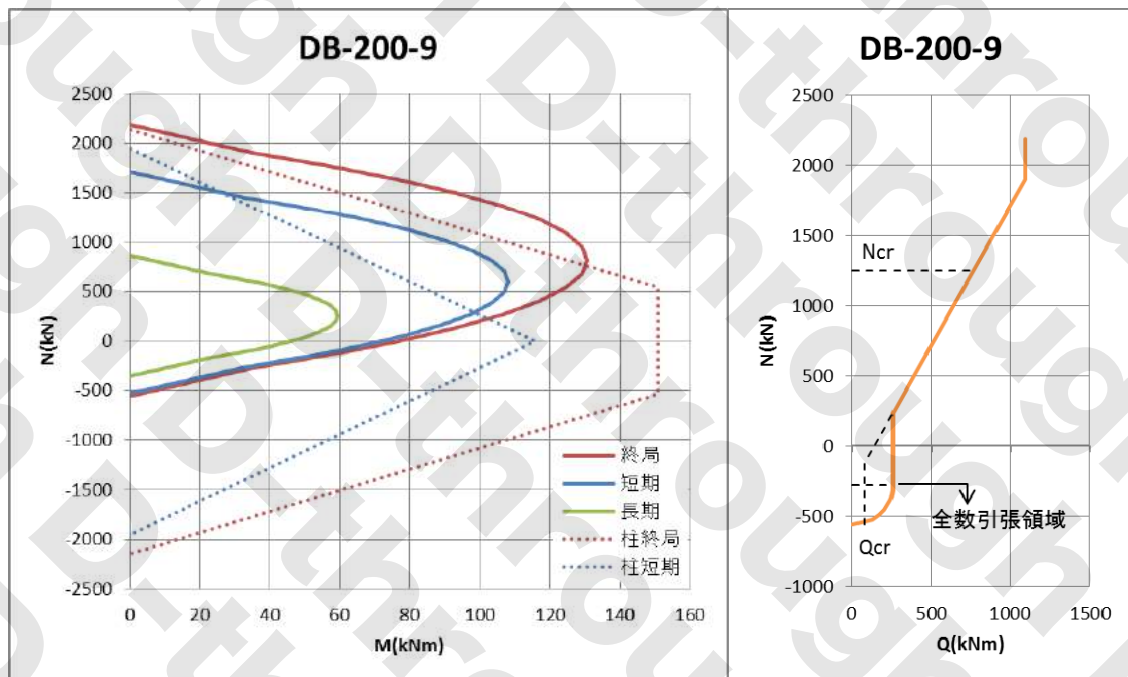


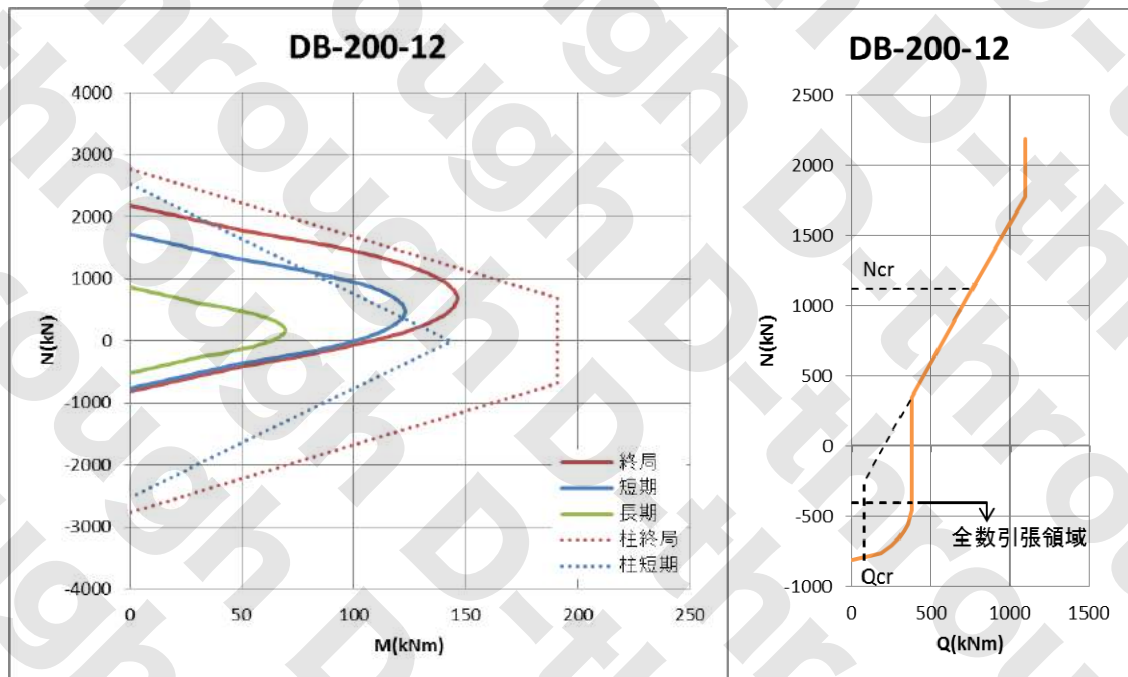
図 2-5 せん断耐力曲線の例

2-2. 柱脚の耐力曲線

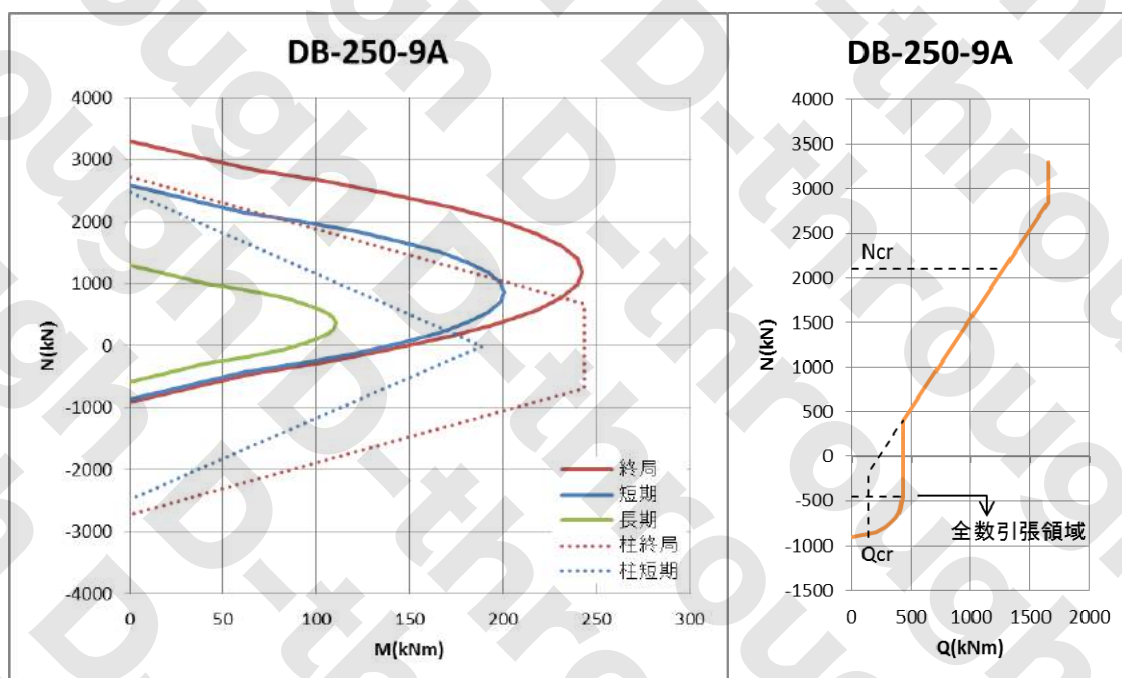
No.1



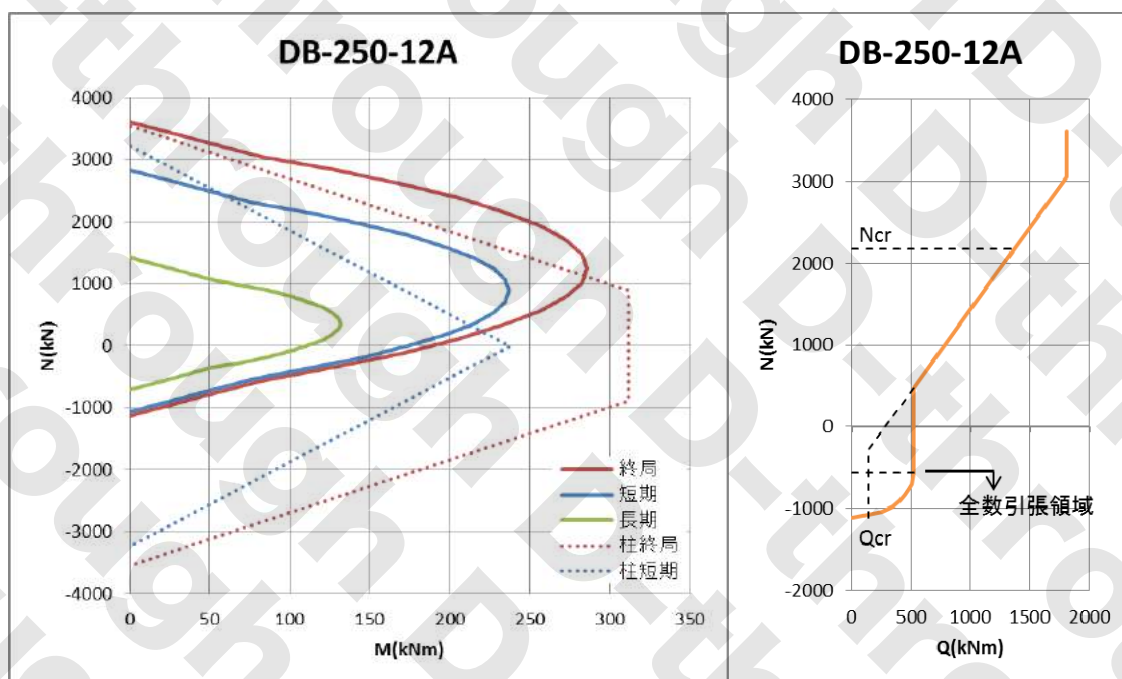
No.2



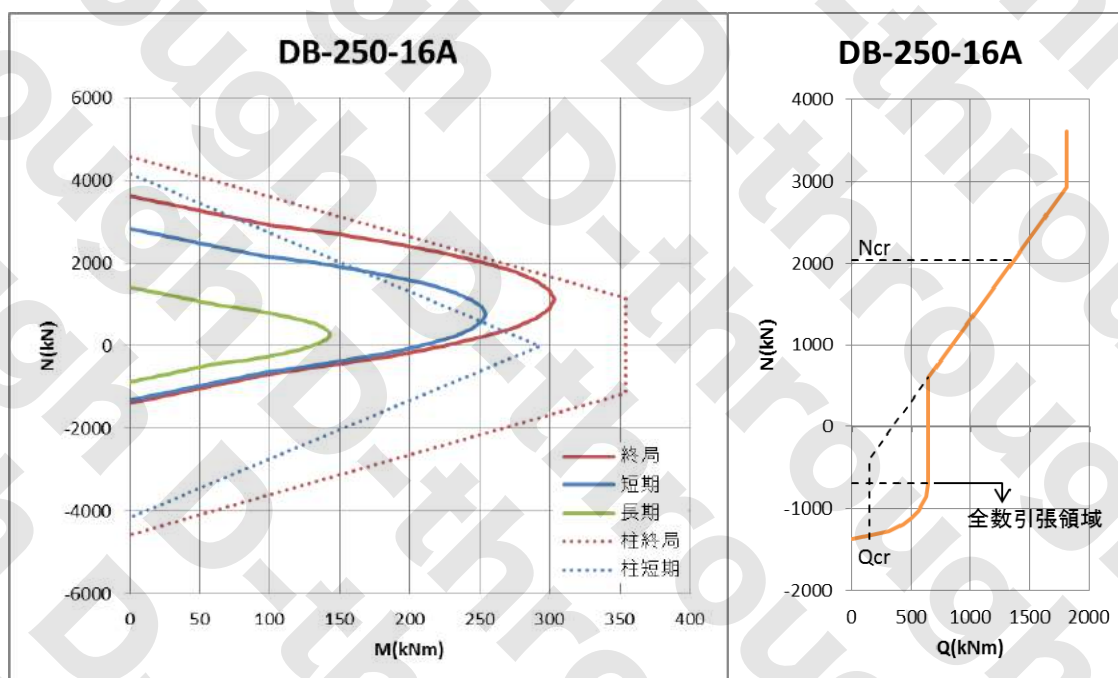
No.3



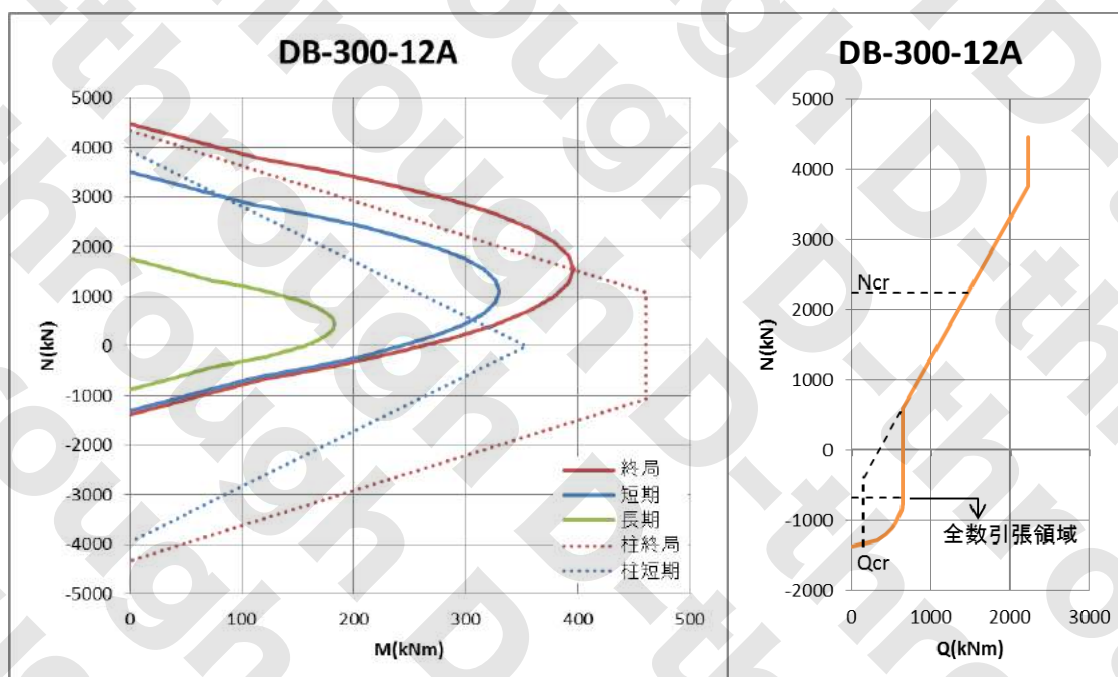
No.4



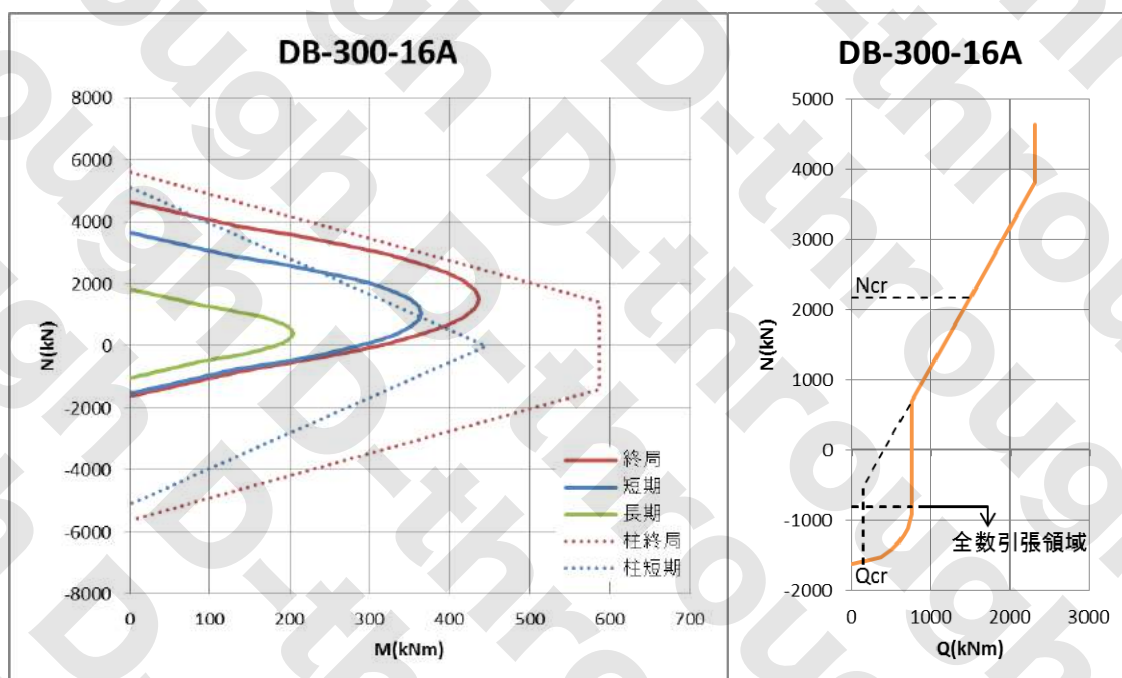
No.5



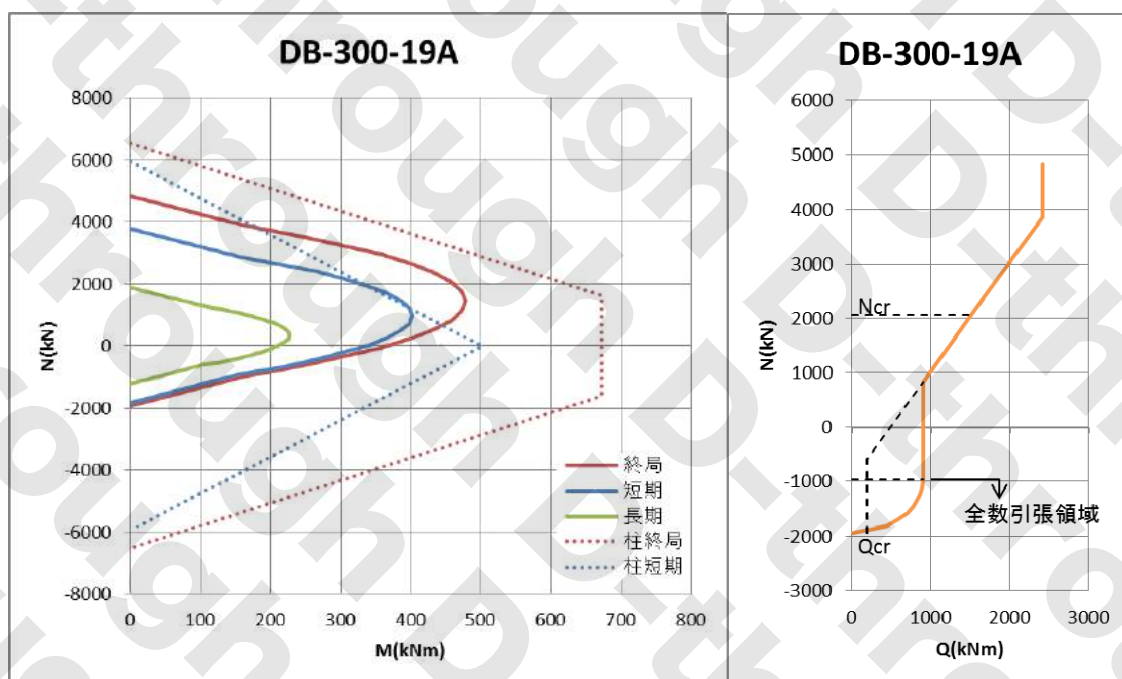
No.6



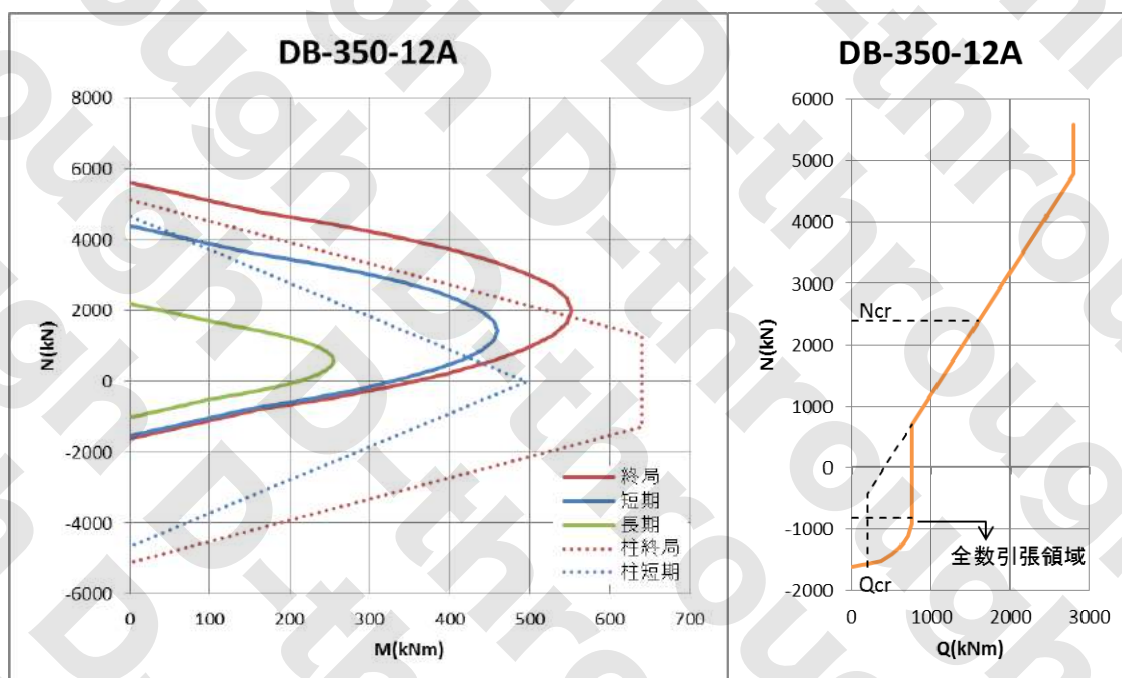
No.7



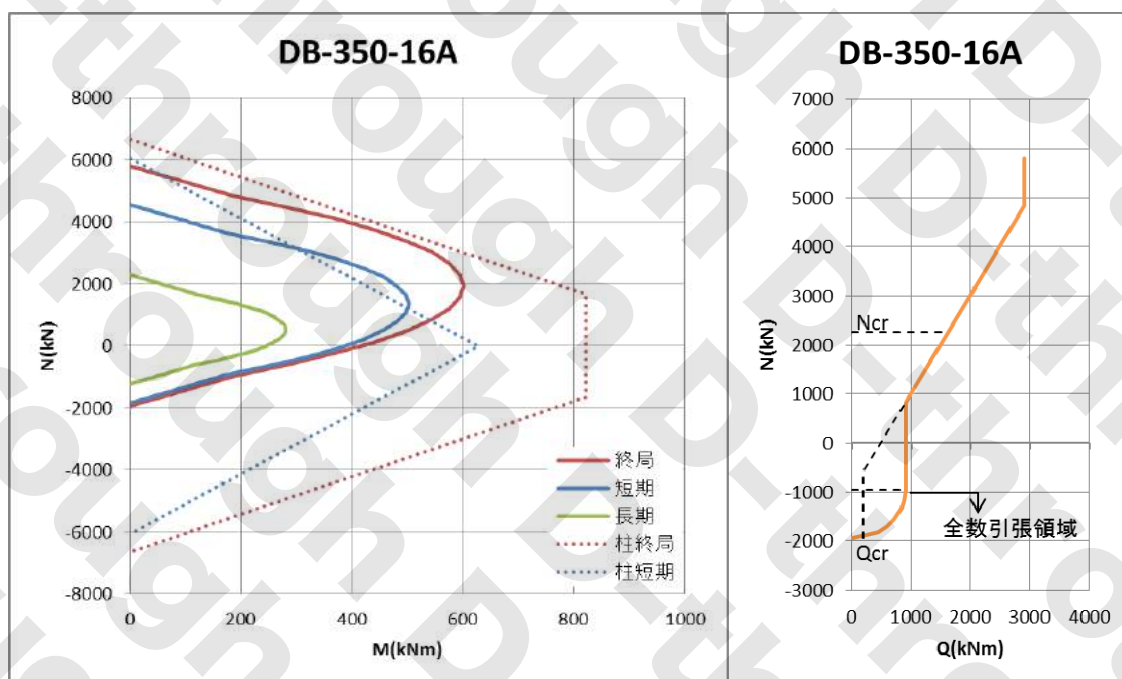
No.8



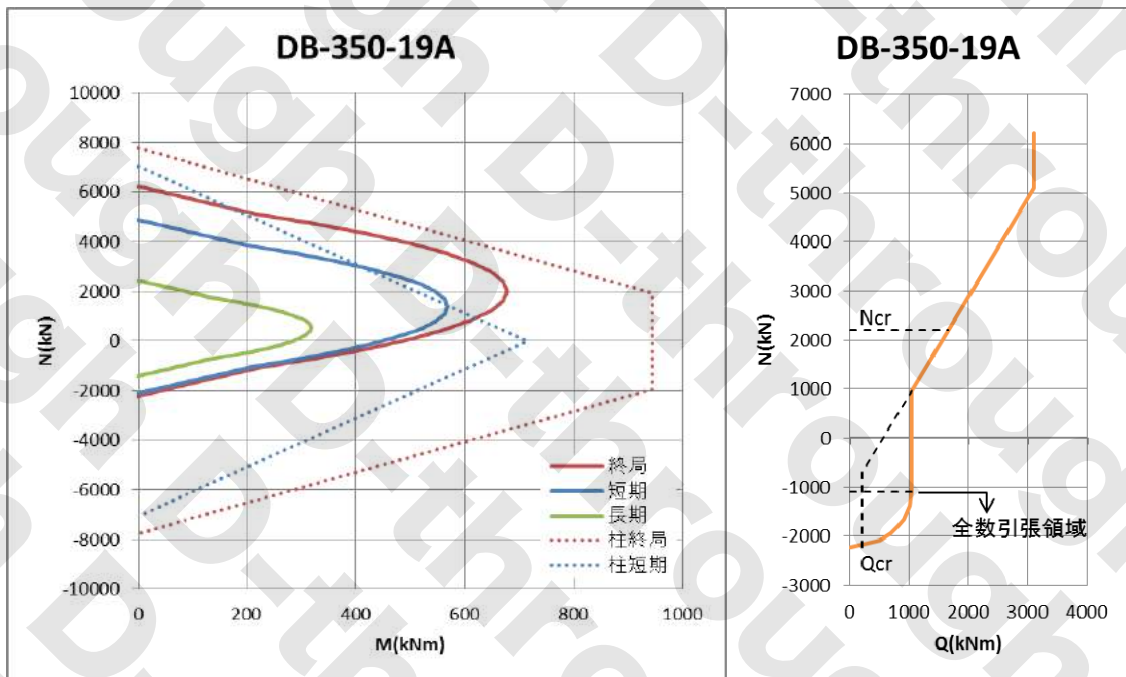
No.9



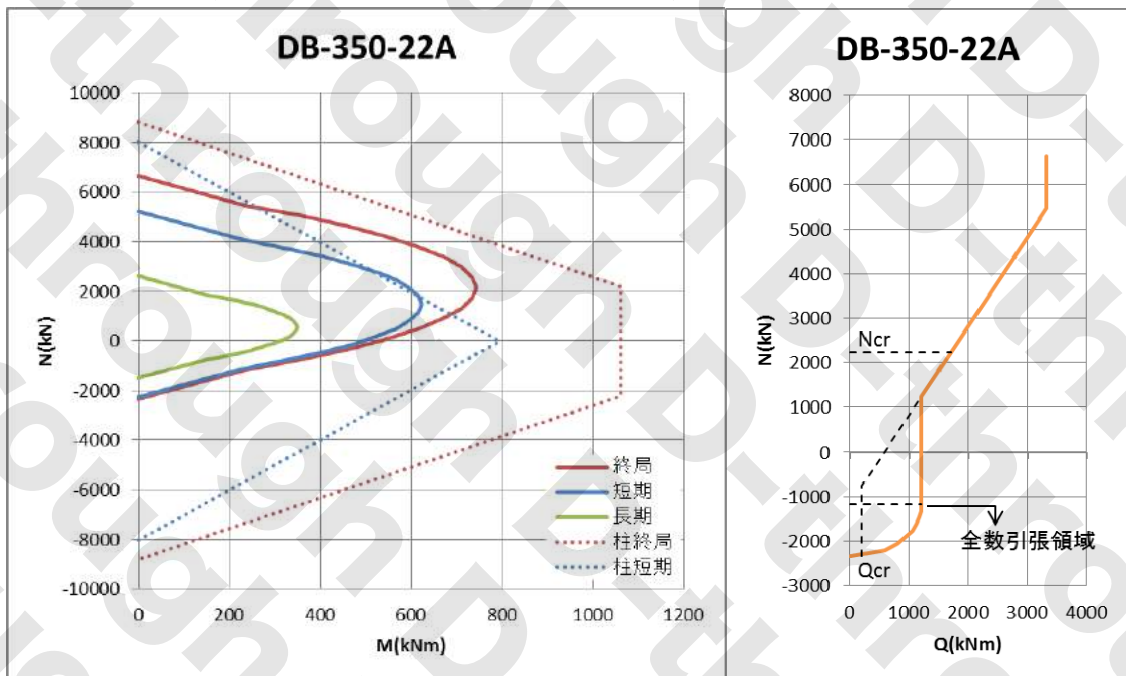
No.10



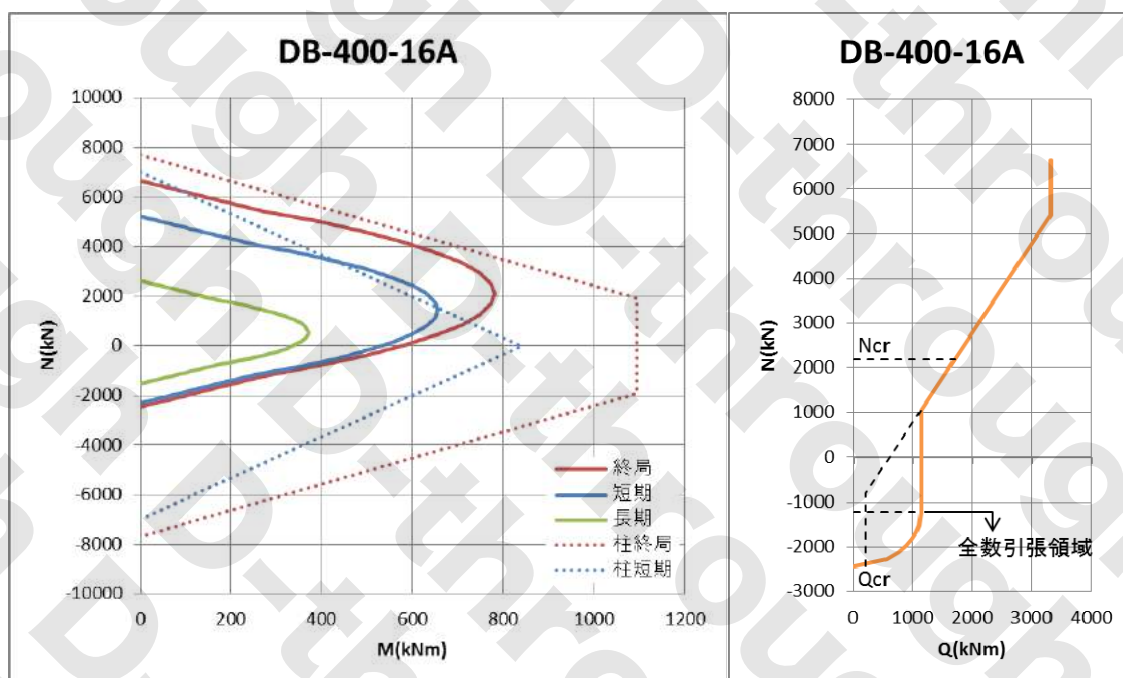
No.11



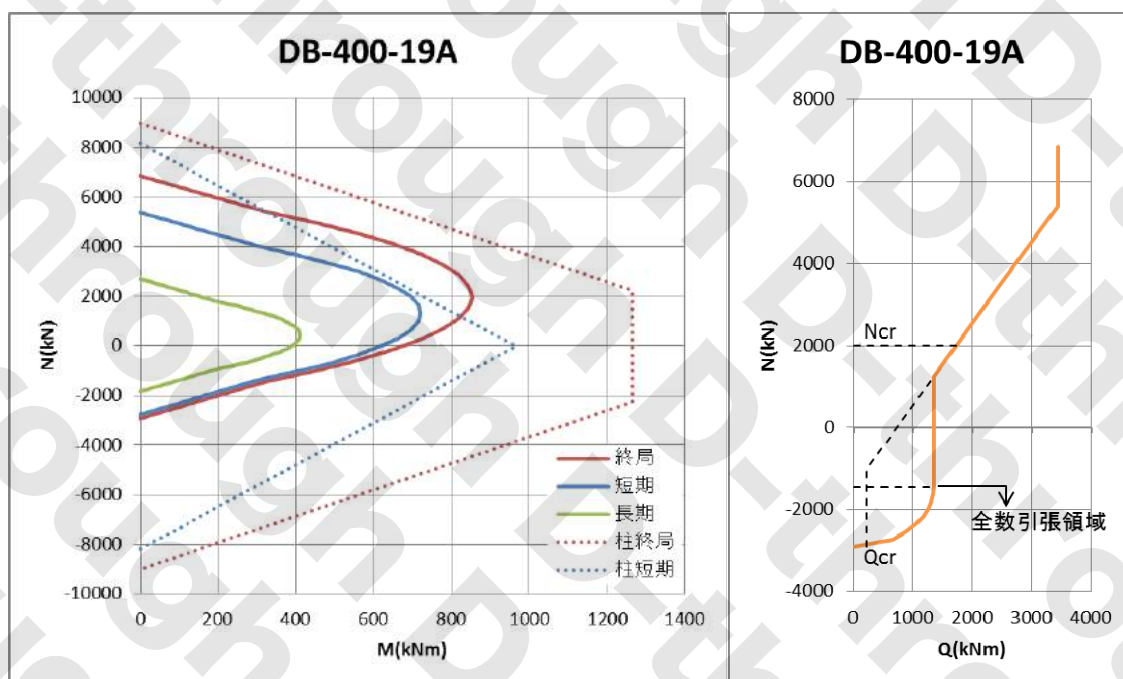
No.12



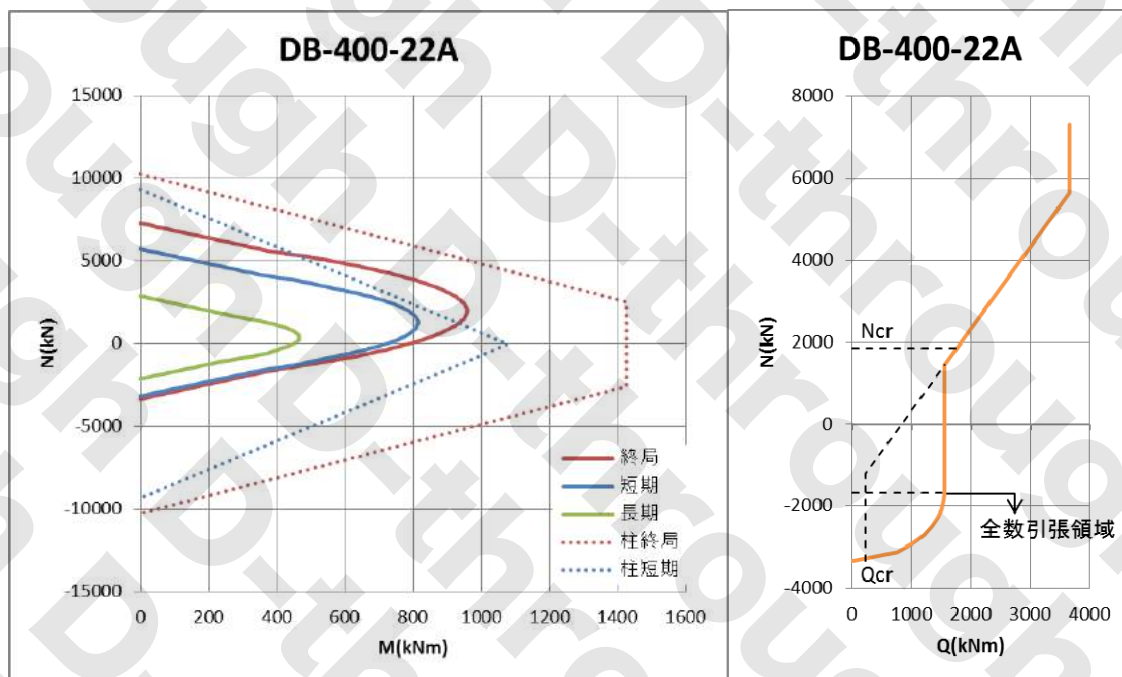
No.13



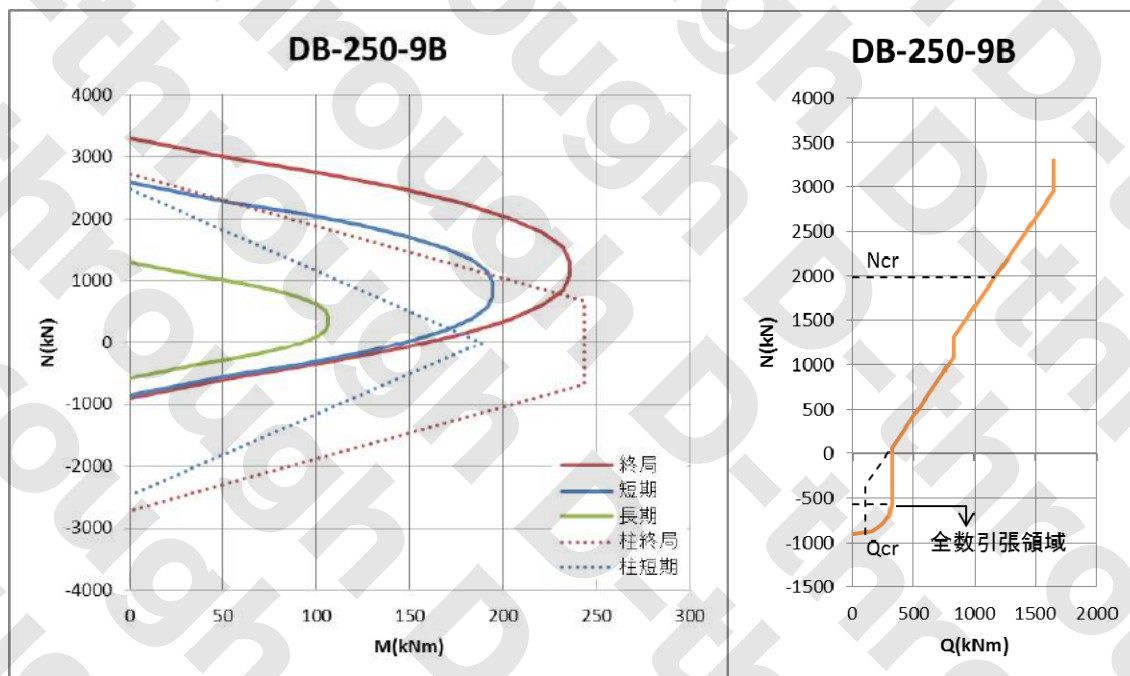
No.14



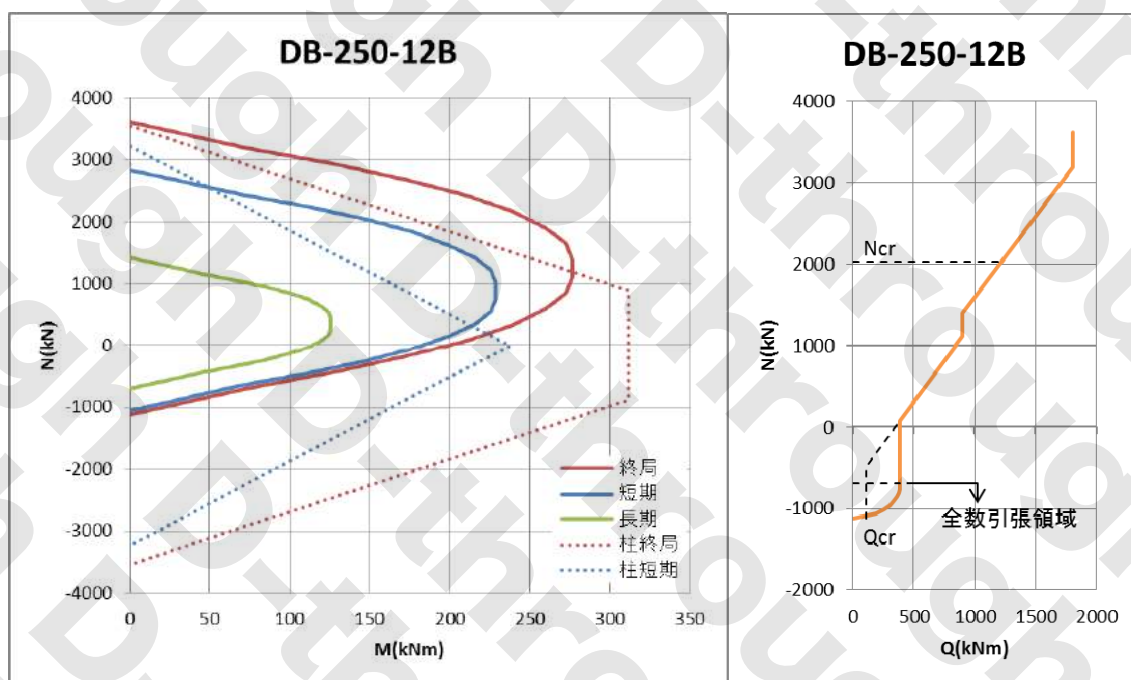
No.15



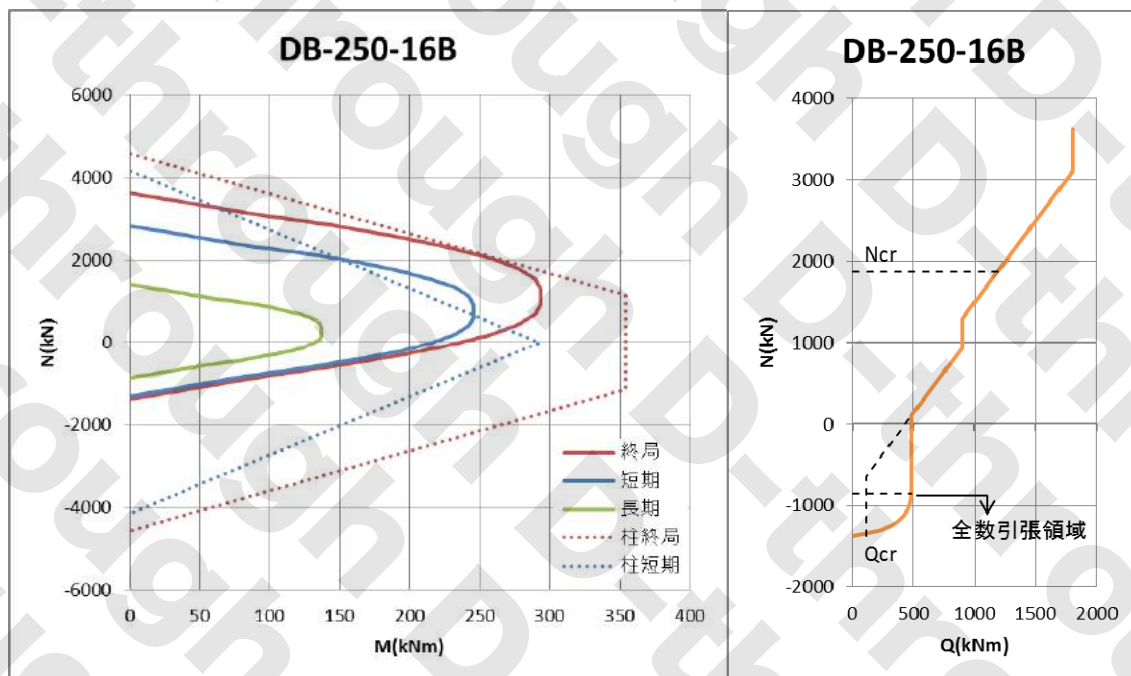
No.16



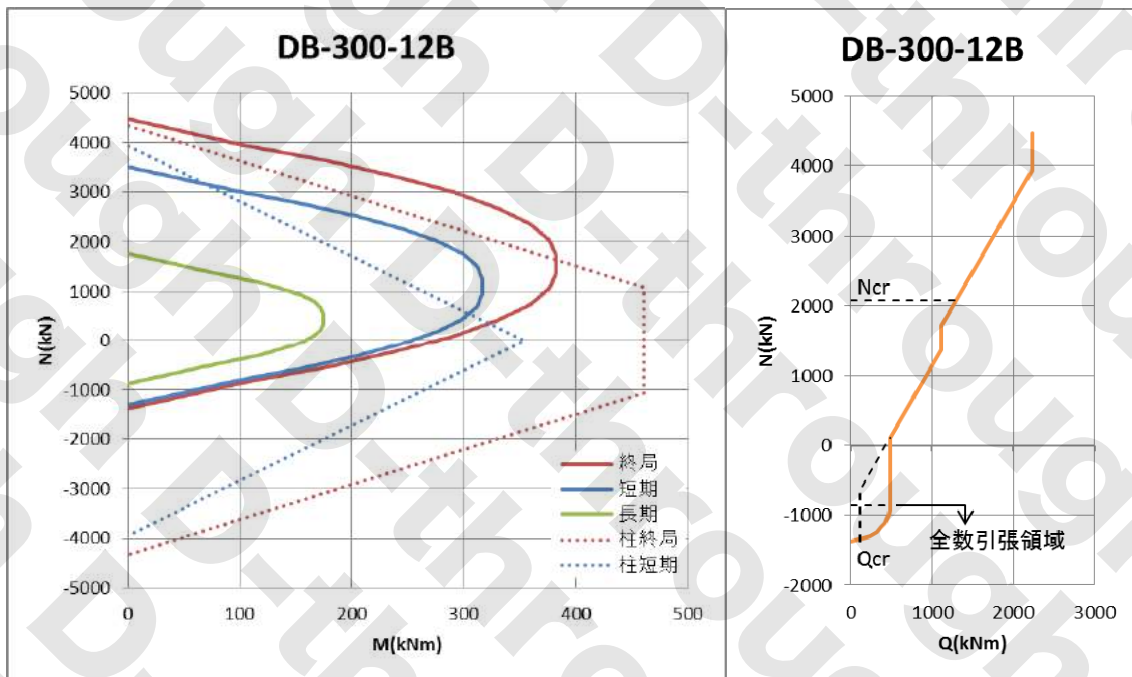
No.17



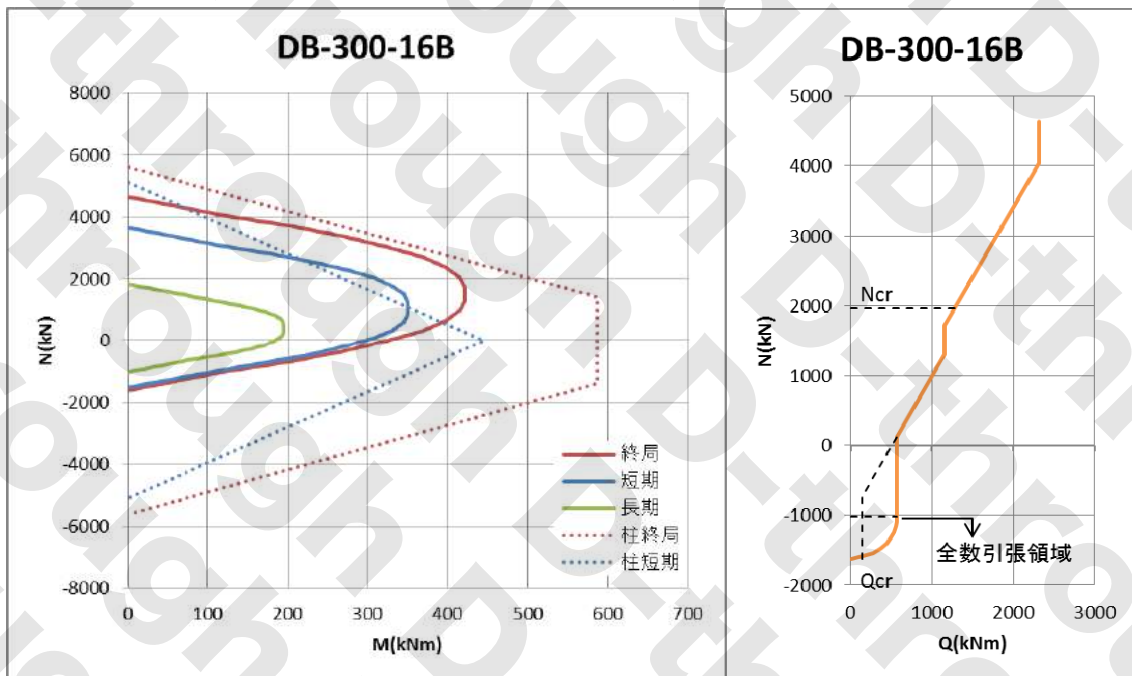
No.18



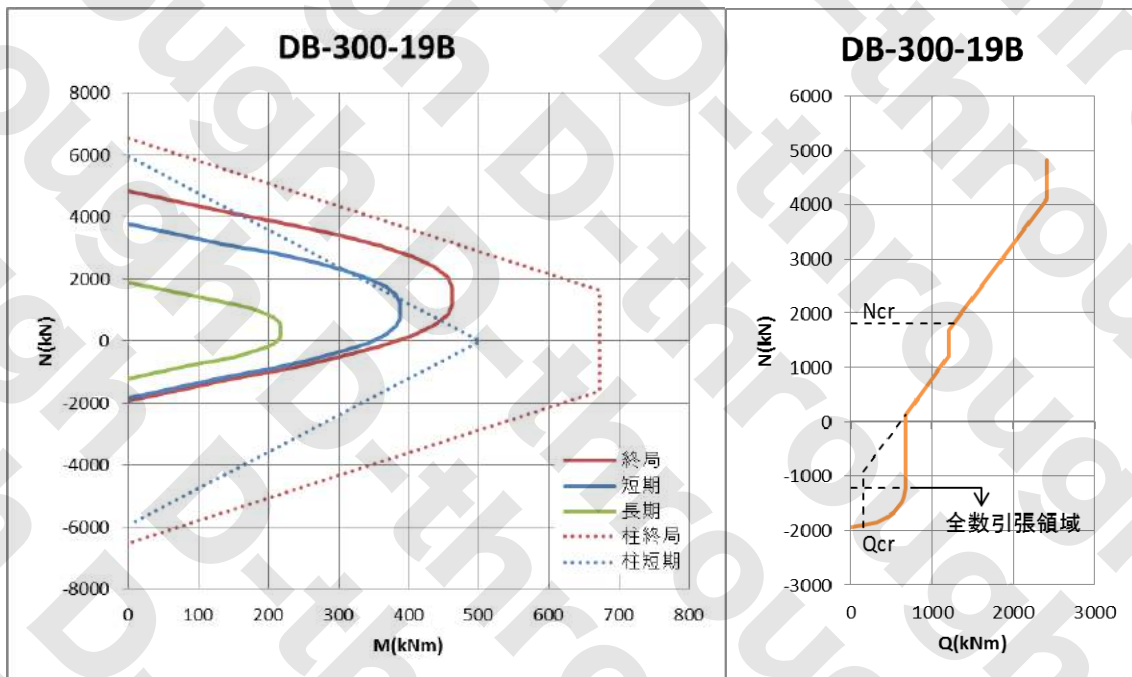
No.19



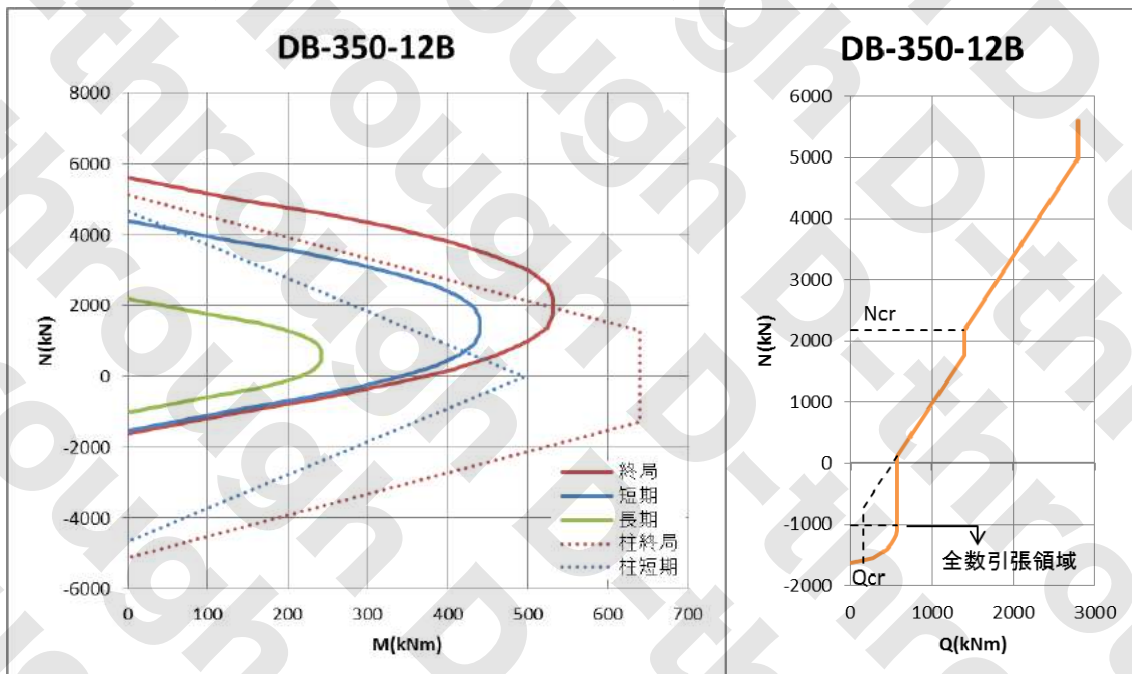
No.20



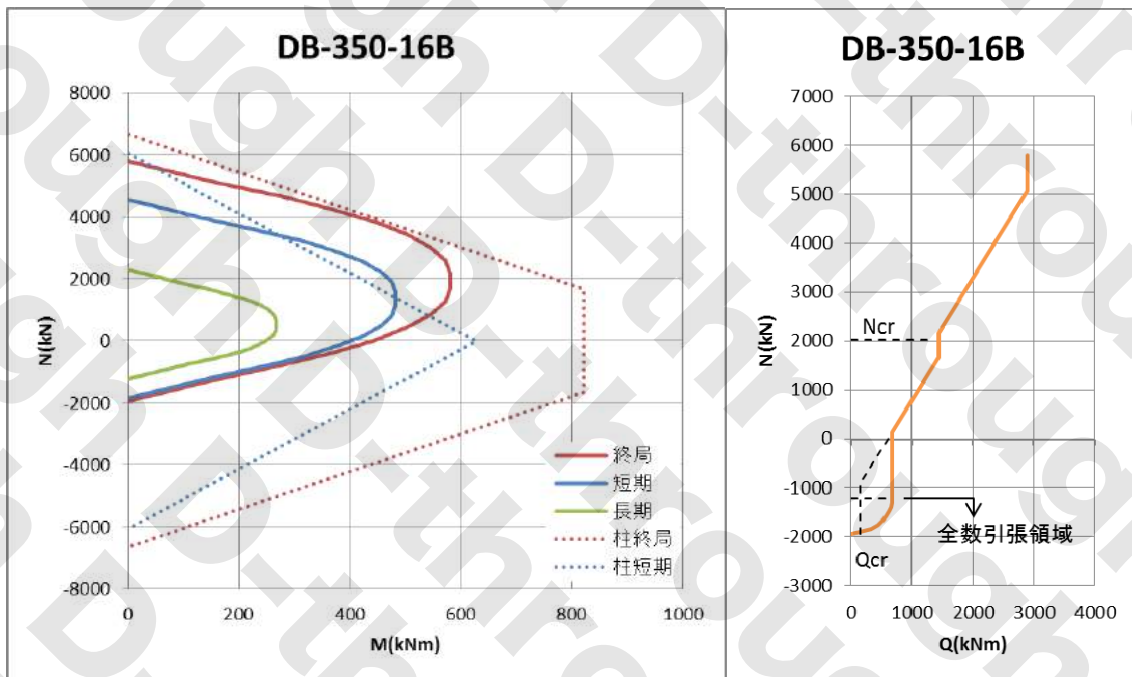
No.21



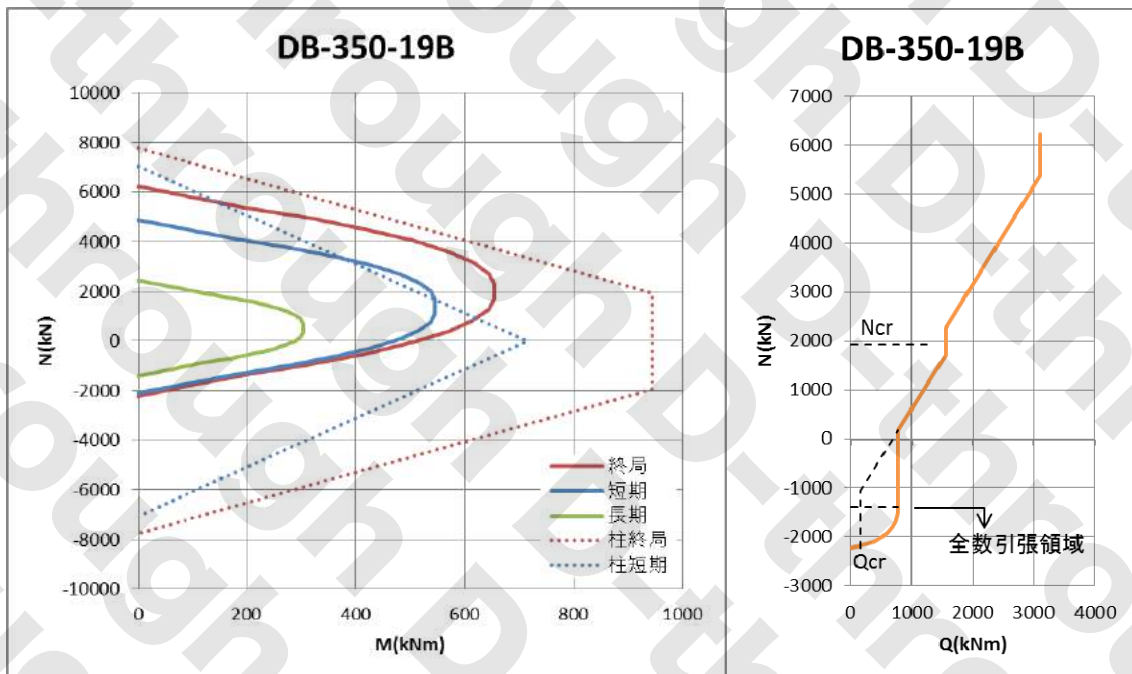
No.22



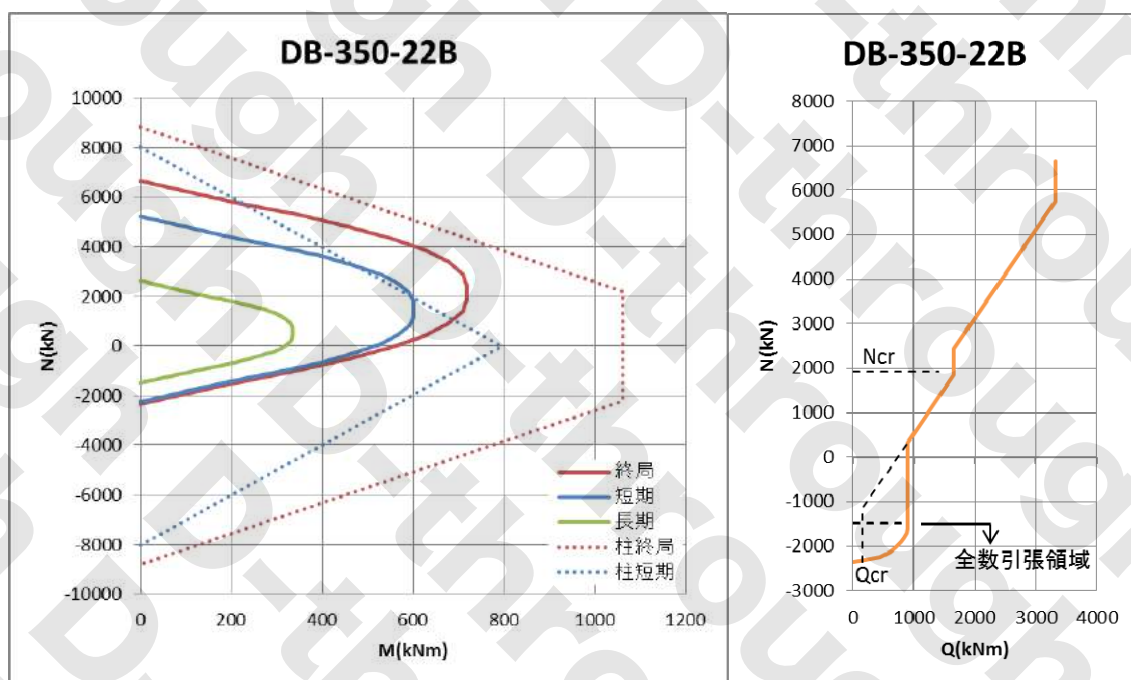
No.23



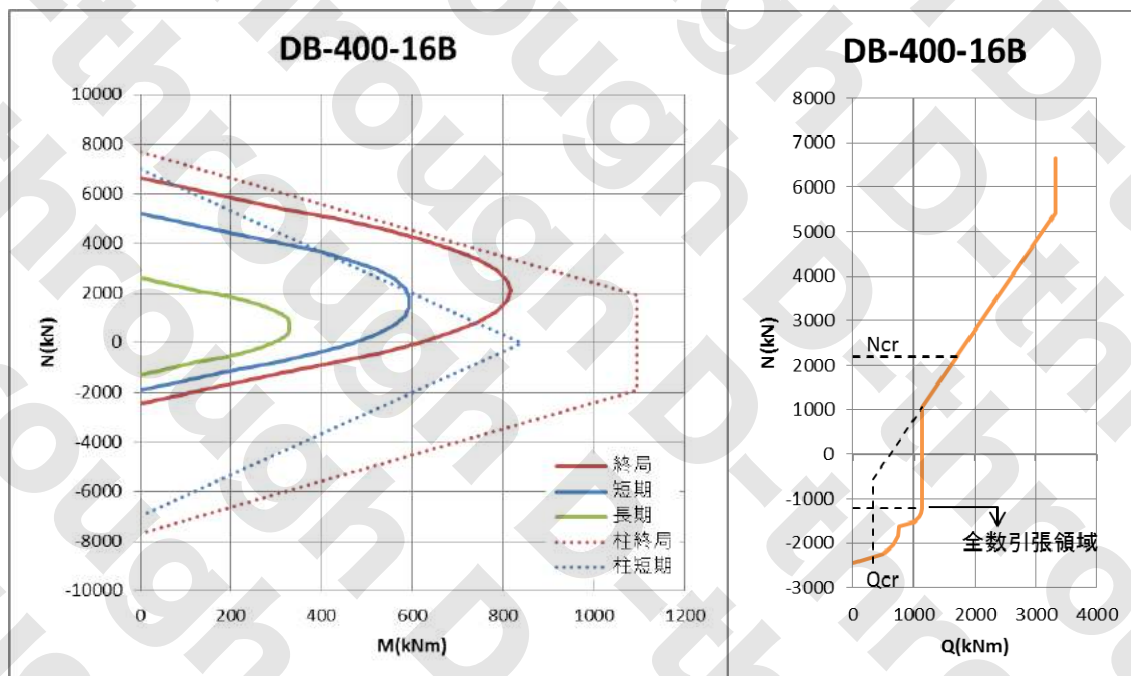
No.24



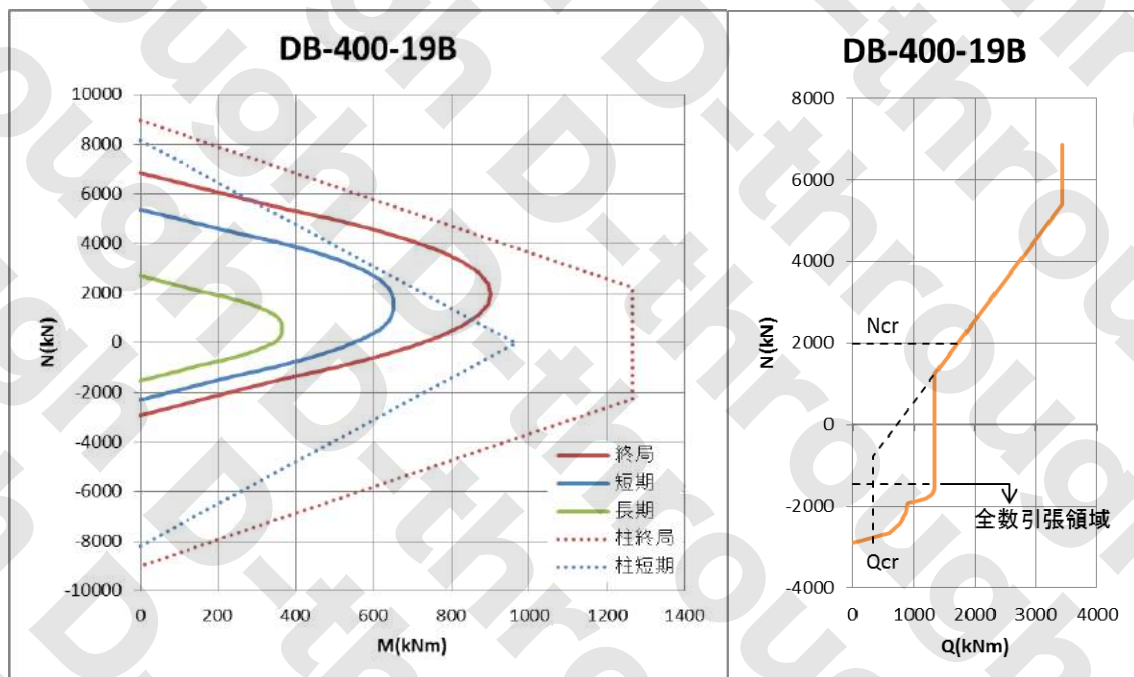
No.25



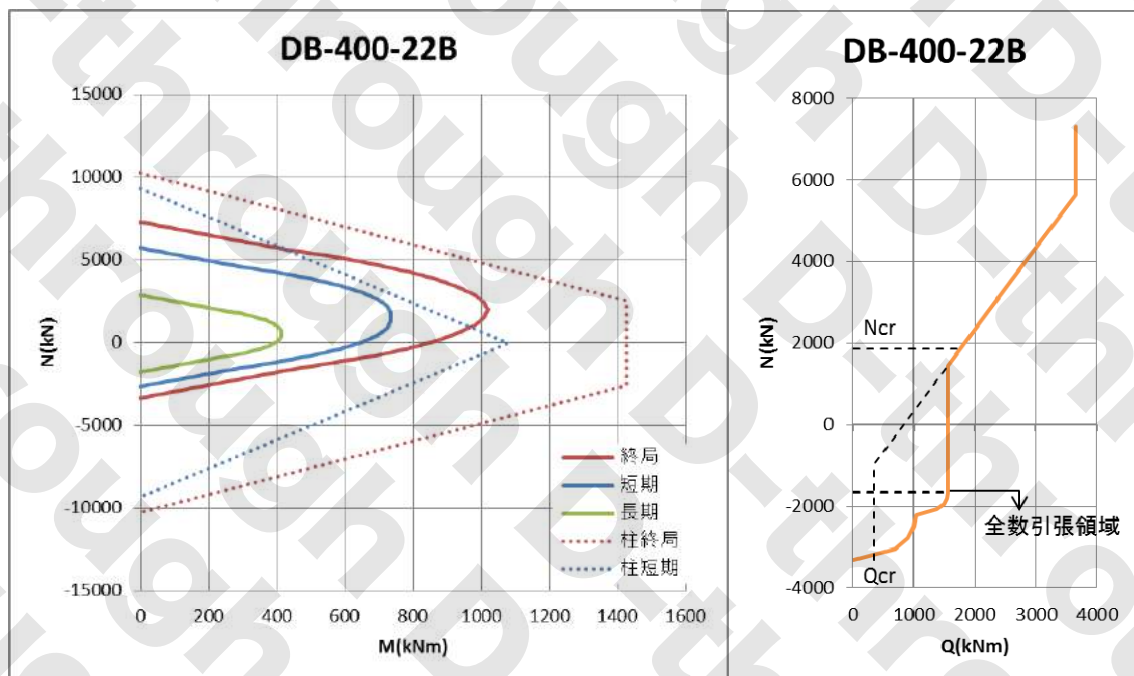
No.26



No.27

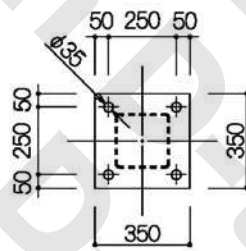


No.28

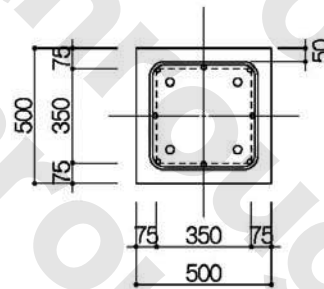


2-3. 柱脚の詳細図

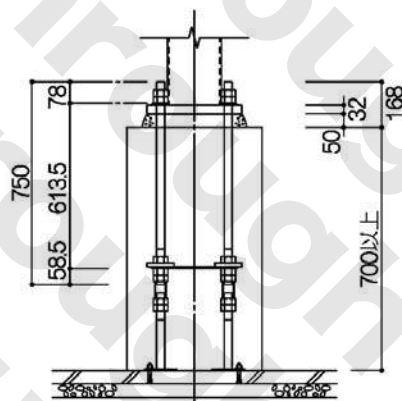
No.1 : DB-200-9



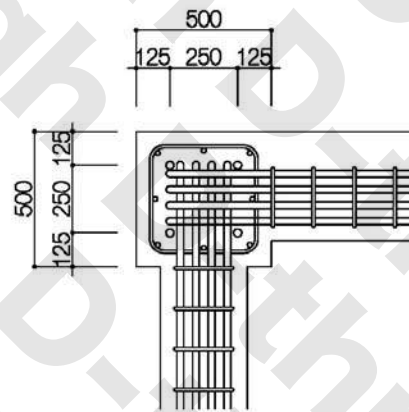
32
ベースプレート



基礎柱

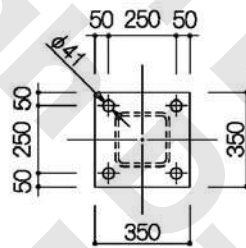


アンカーフレーム

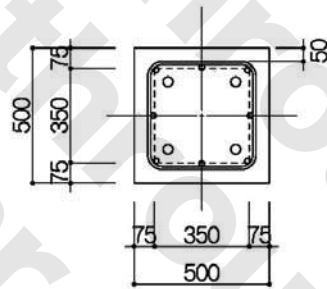


鉄筋納まり図 (例)

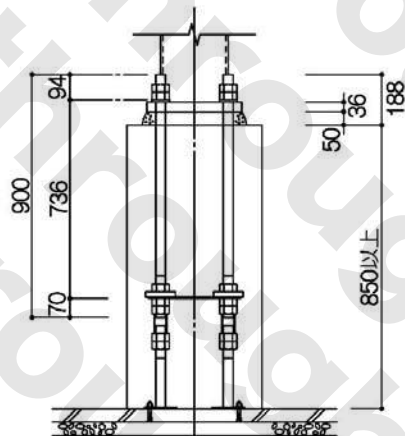
No.2 : DB-200-12



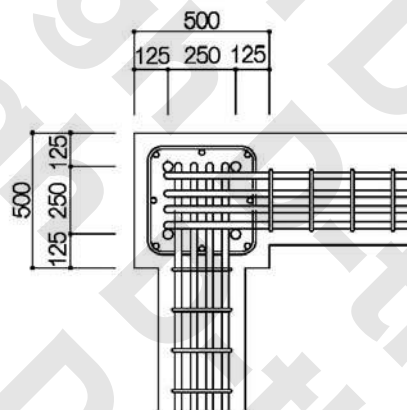
ベースプレート



基礎柱

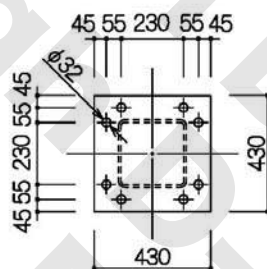


アンカーフレーム

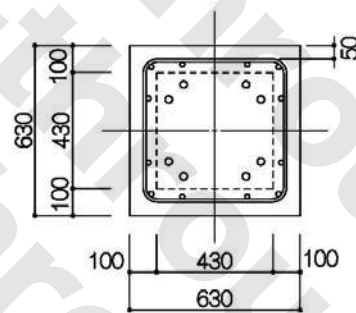


鉄筋納まり図 (例)

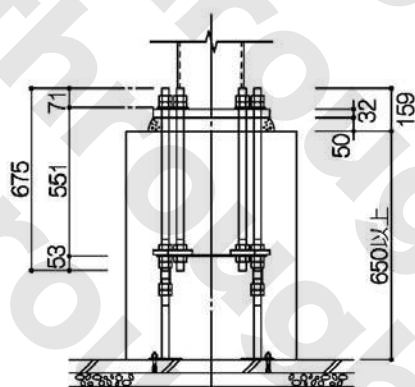
No.3 : DB-250-9A



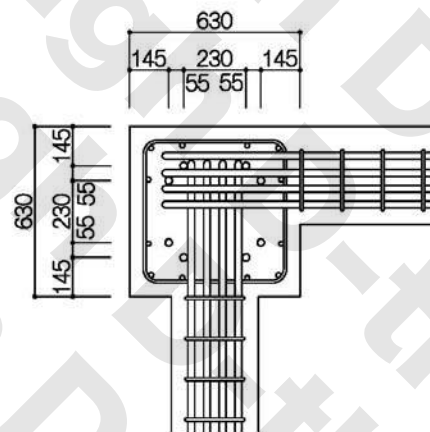
32
ベースプレート



基礎柱

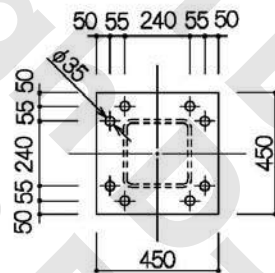


アンカーフレーム

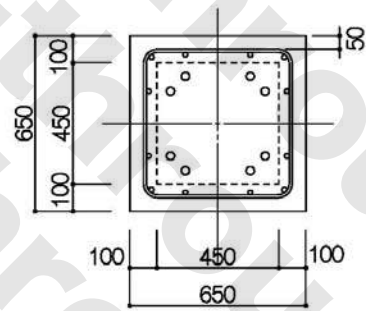


鉄筋納まり図 (例)

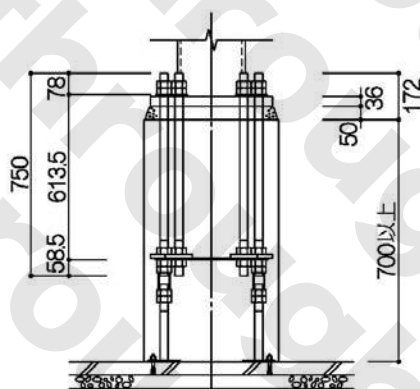
No.4 : DB-250-12A



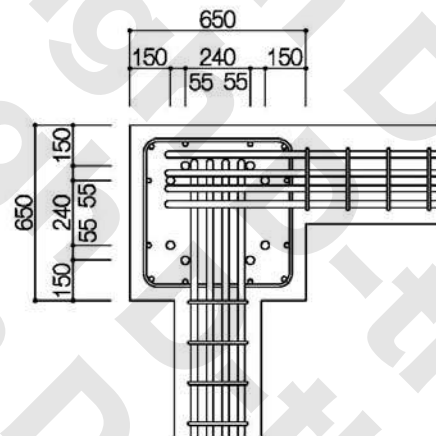
36
ベースプレート



基礎柱

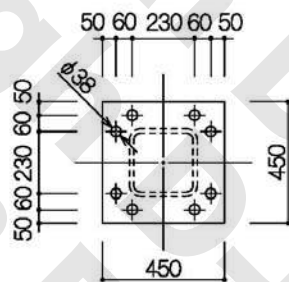


アンカーフレーム

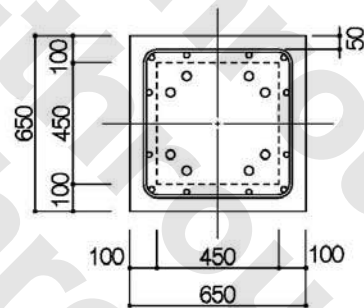


鉄筋納まり図 (例)

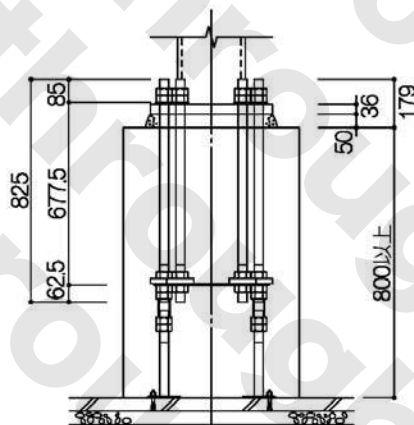
No.5 : DB-250-16A



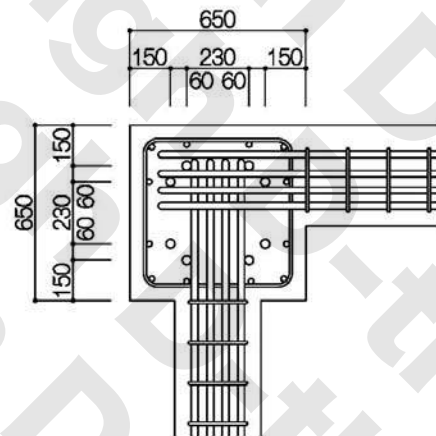
ベースプレート



基礎柱

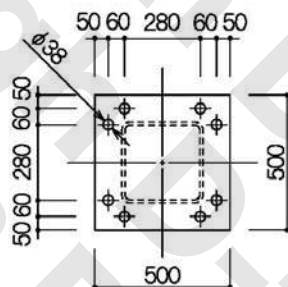


アンカーフレーム

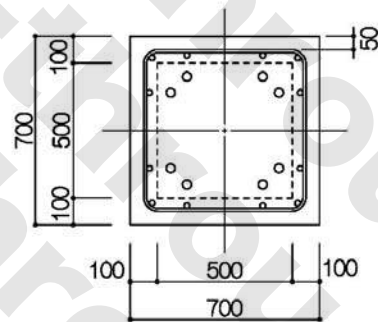


鉄筋納まり図 (例)

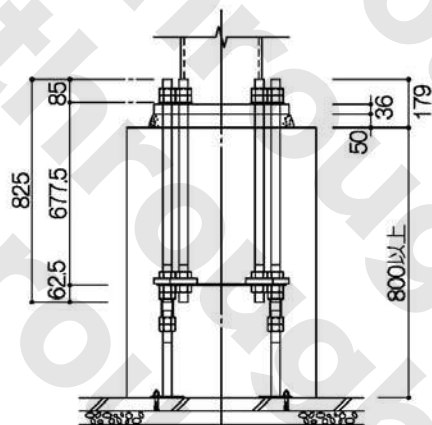
No.6 : DB-300-12A



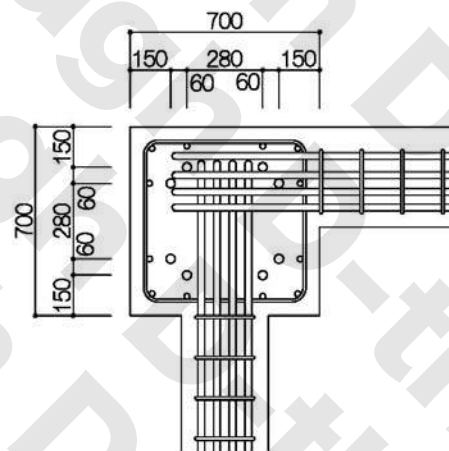
ベースプレート



基礎柱

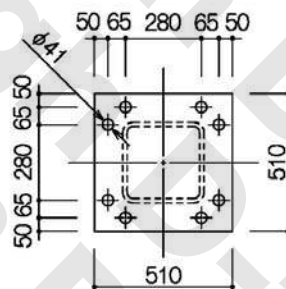


アンカーフレーム

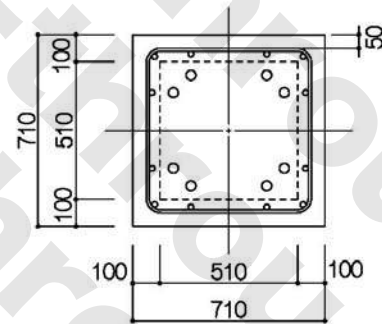


鉄筋納まり図 (例)

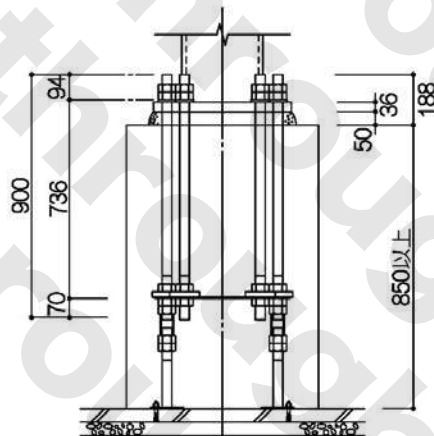
No.7 : DB-300-16A



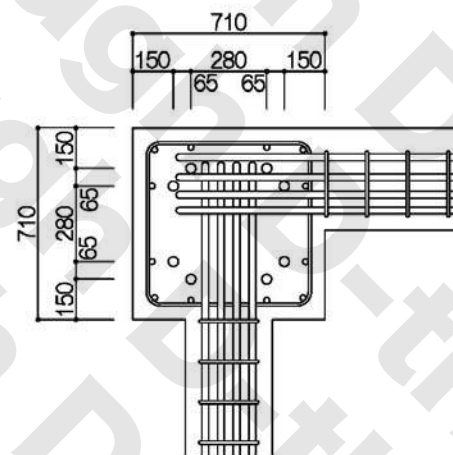
ベースプレート



基礎柱

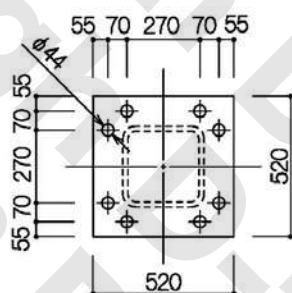


アンカーフレーム

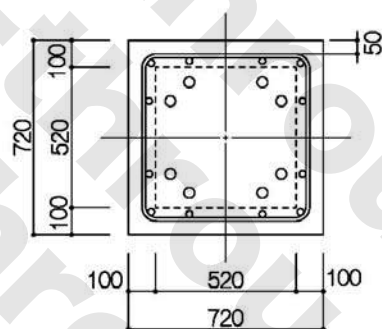


鉄筋納まり図 (例)

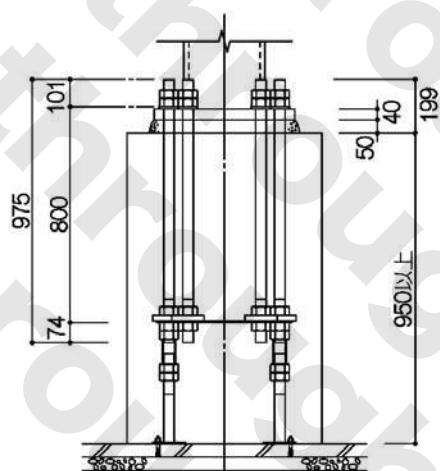
No.8 : DB-300-19A



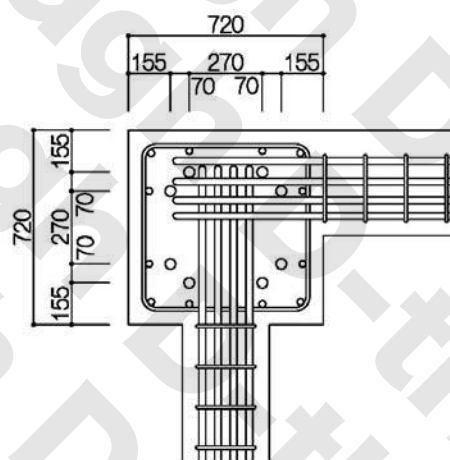
ベースプレート



基礎柱

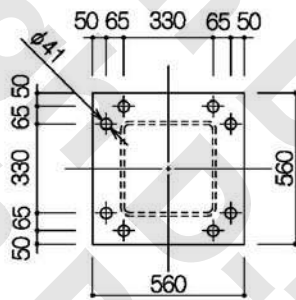


アンカーフレーム

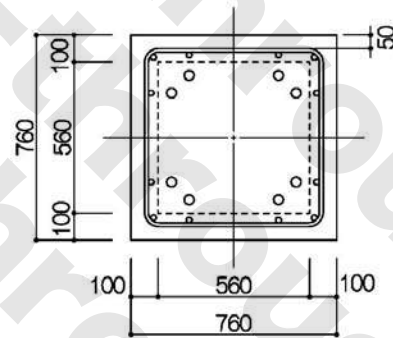


鉄筋納まり図 (例)

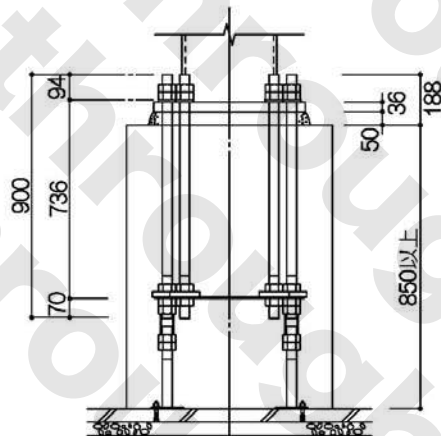
No.9 : DB-350-12A



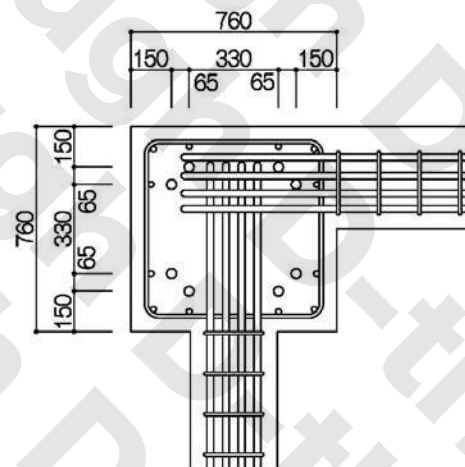
ベースプレート



基礎柱

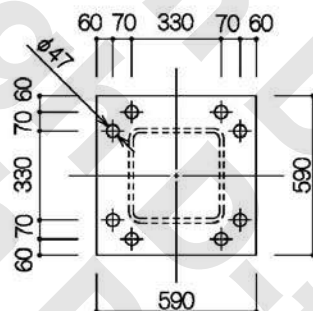


アンカーフレーム

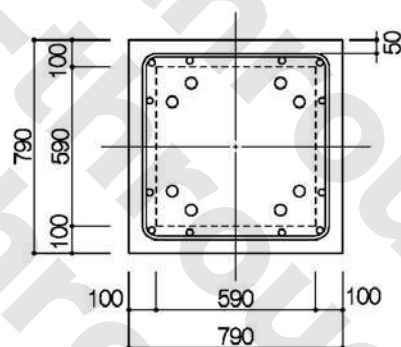


鉄筋納まり図 (例)

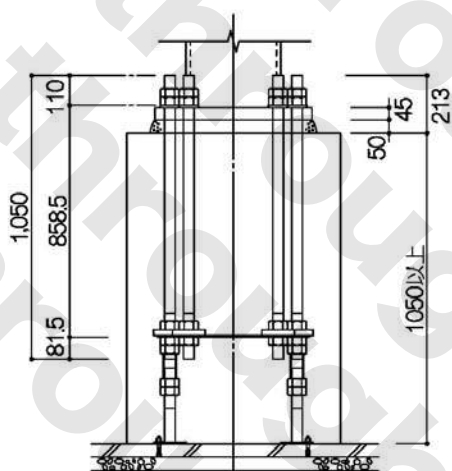
No.10 : DB-350-16A



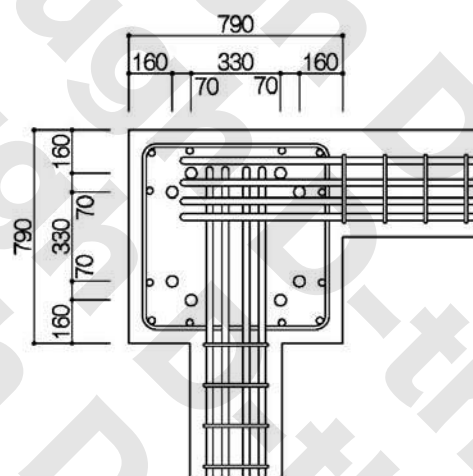
ベースプレート



基礎柱

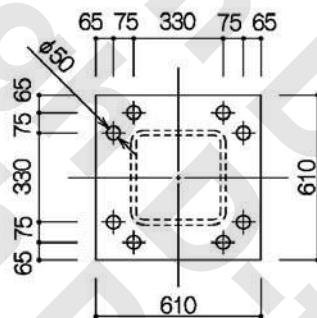


アンカーフレーム

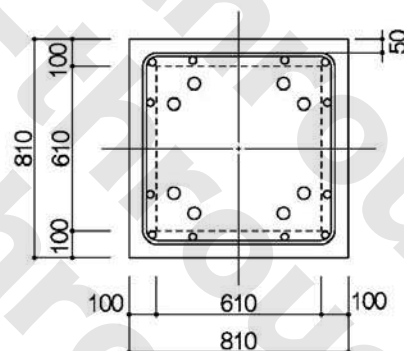


鉄筋納まり図 (例)

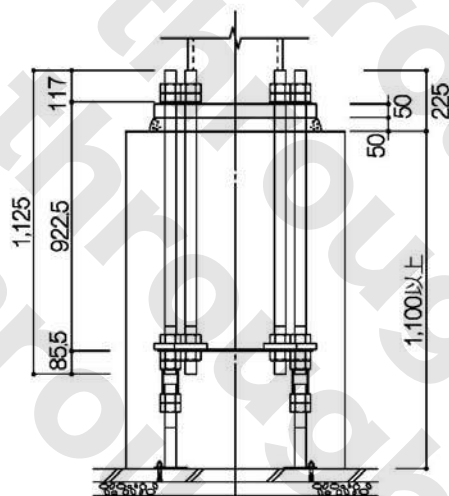
No.11 : DB-350-19A



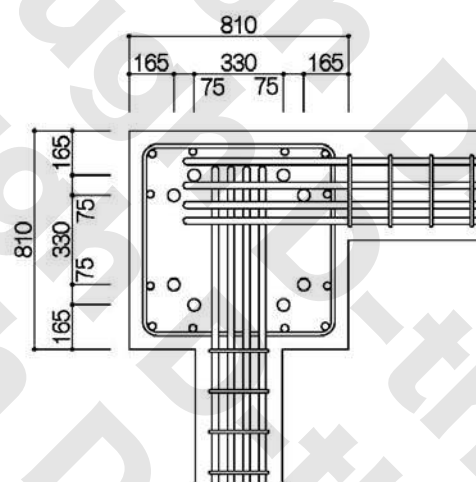
ベースプレート



基礎柱

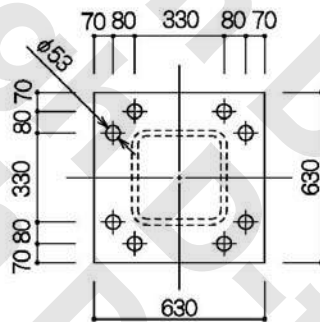


アンカーフレーム

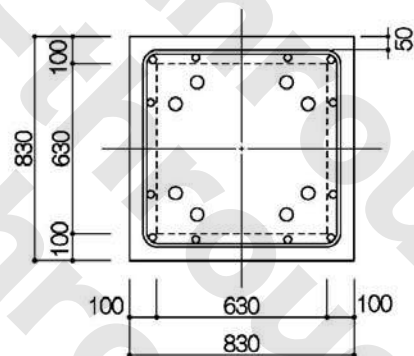


鉄筋納まり図 (例)

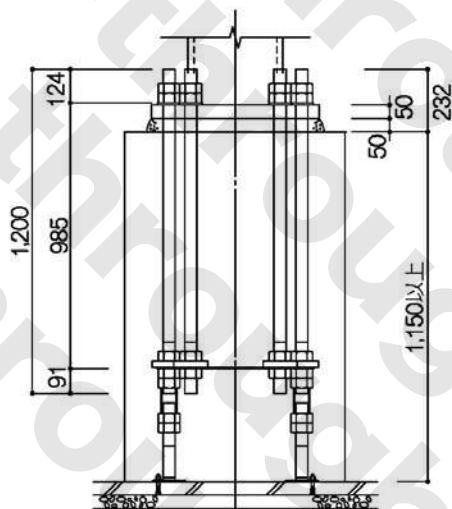
No.12 : DB-350-22A



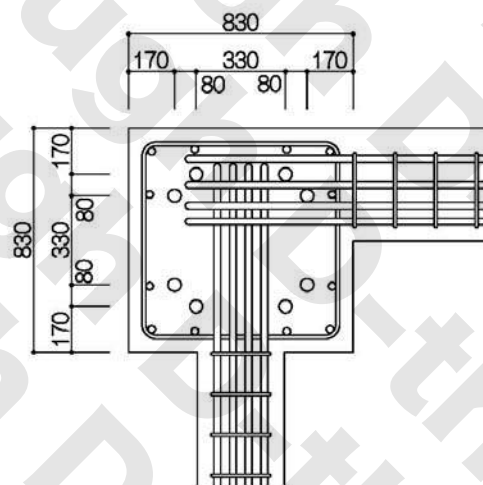
ベースプレート



基礎柱

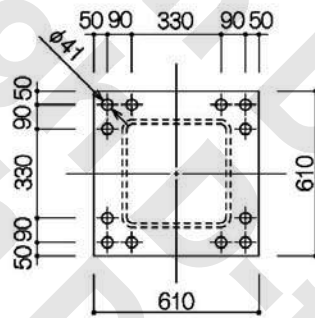


アンカーフレーム

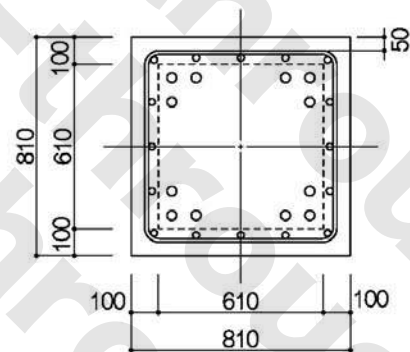


鉄筋納まり図 (例)

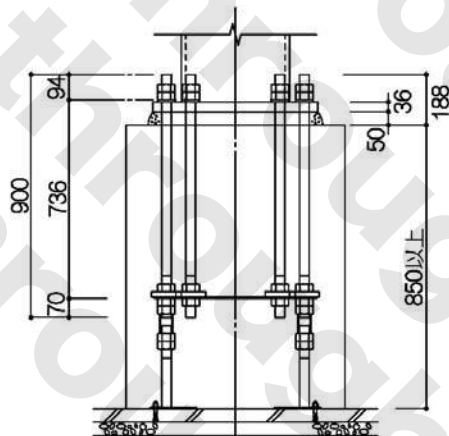
No.13 : DB-400-16A



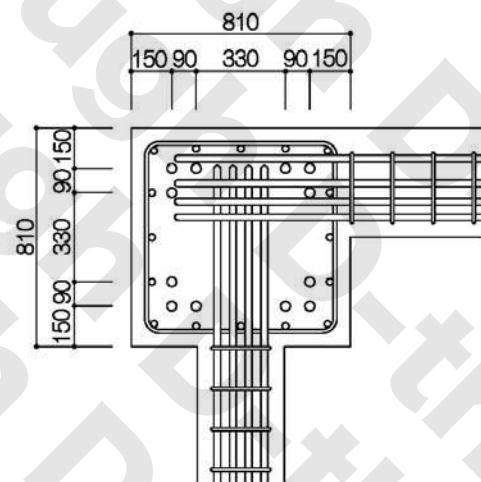
ベースプレート



基礎柱

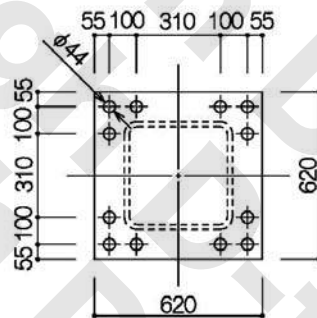


アンカーフレーム

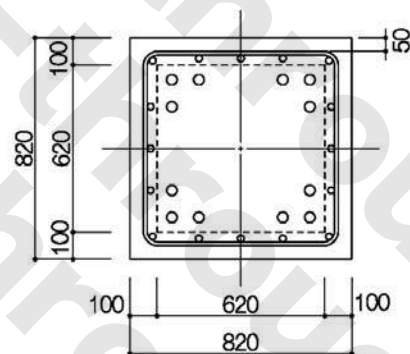


鉄筋納まり図 (例)

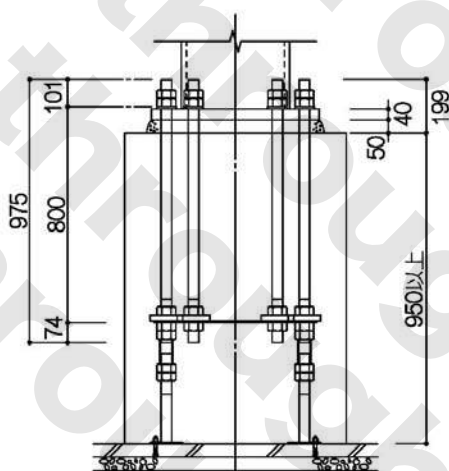
No.14 : DB-400-19A



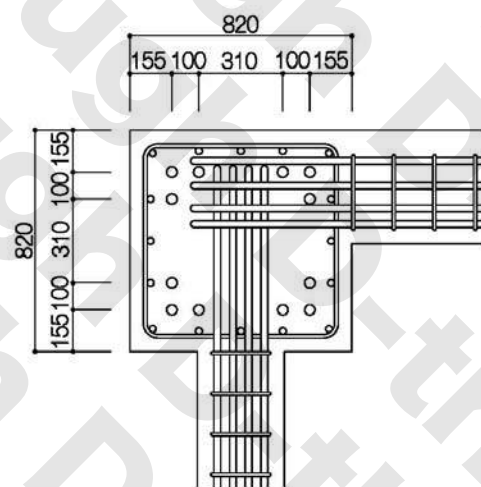
ベースプレート



基礎柱

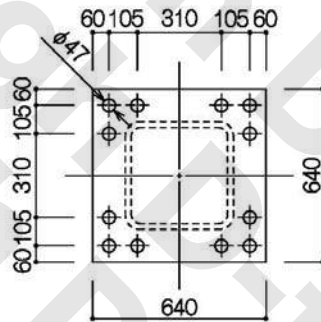


アンカーフレーム

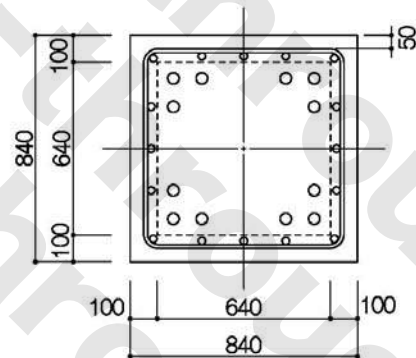


鉄筋納まり図 (例)

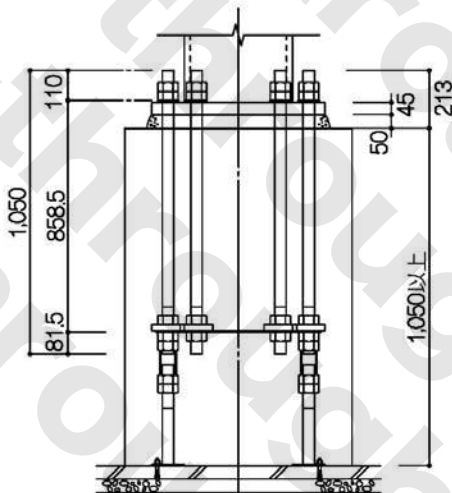
No.15 : DB-400-22A



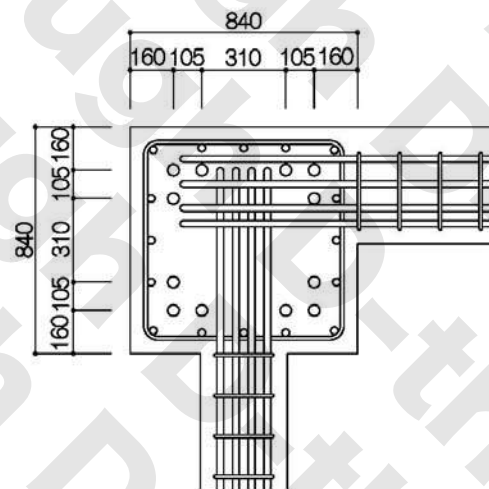
ベースプレート



基礎柱

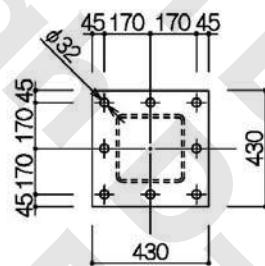


アンカーフレーム

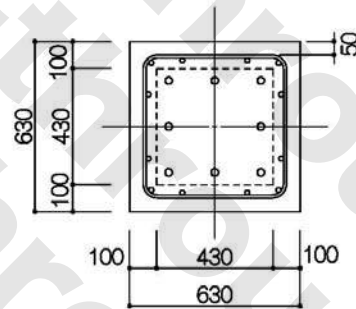


鉄筋納まり図 (例)

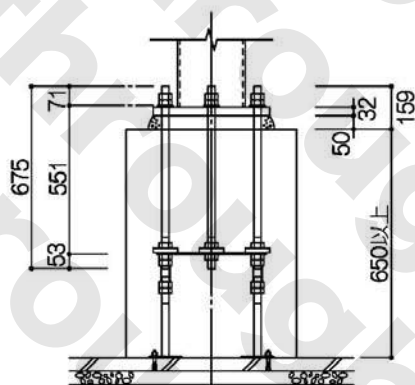
No.16 : DB-250-9B



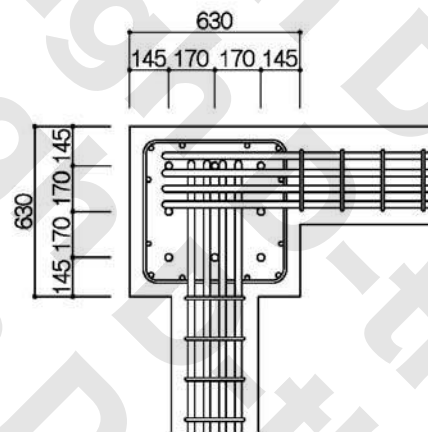
ベースプレート



基礎柱

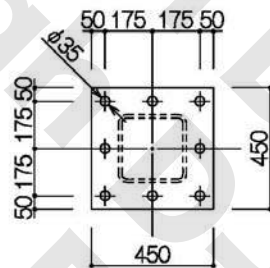


アンカーフレーム

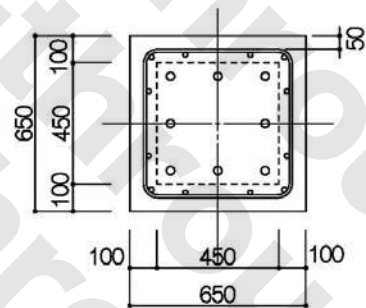


鉄筋納まり図 (例)

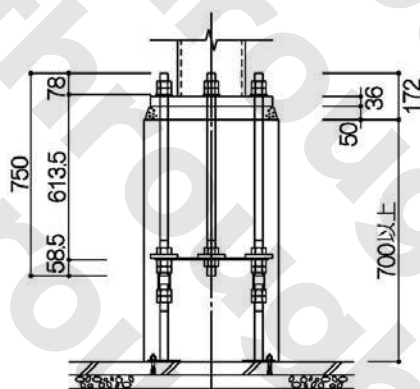
No.17 : DB-250-12B



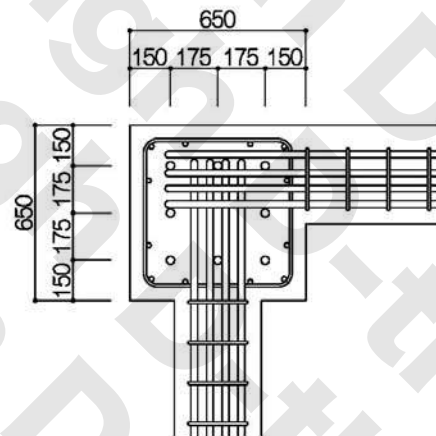
ベースプレート



基礎柱

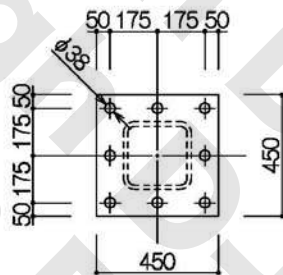


アンカーフレーム

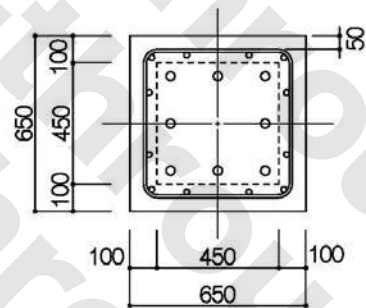


鉄筋納まり図 (例)

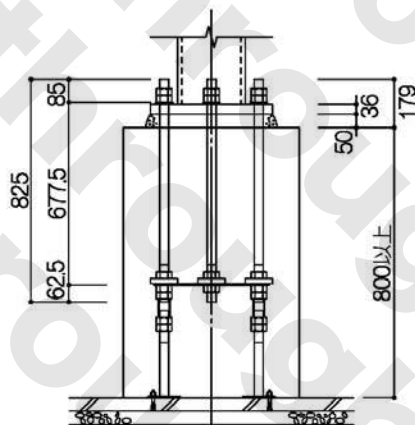
No.18 : DB-250-16B



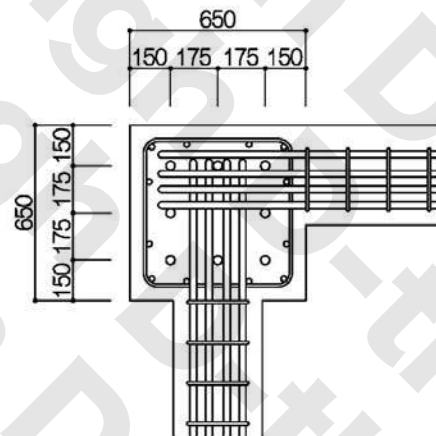
ベースプレート



基礎柱

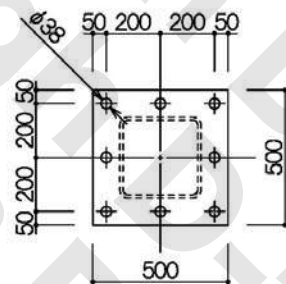


アンカーフレーム

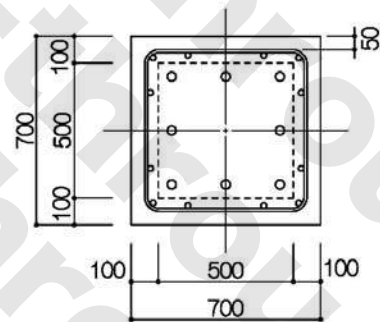


鉄筋納まり図 (例)

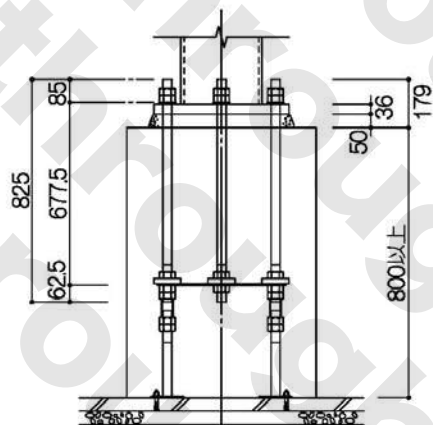
No.19 : DB-300-12B



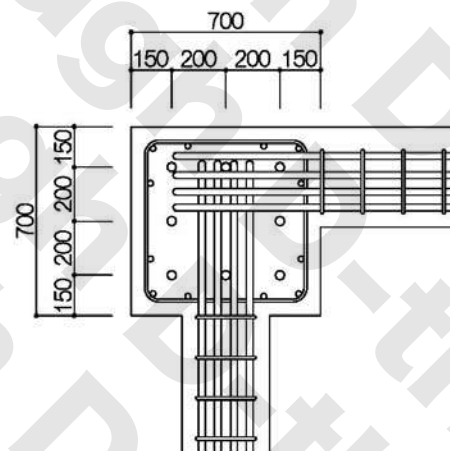
ベースプレート



基礎柱

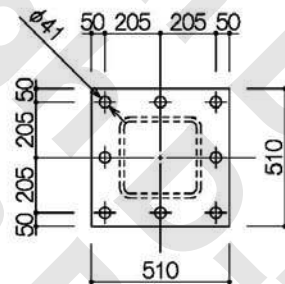


アンカーフレーム

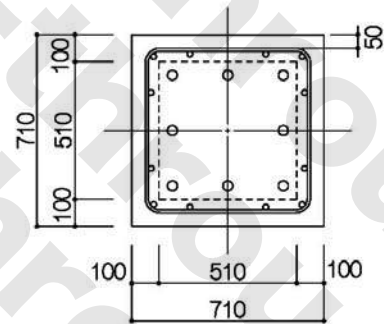


鉄筋納まり図 (例)

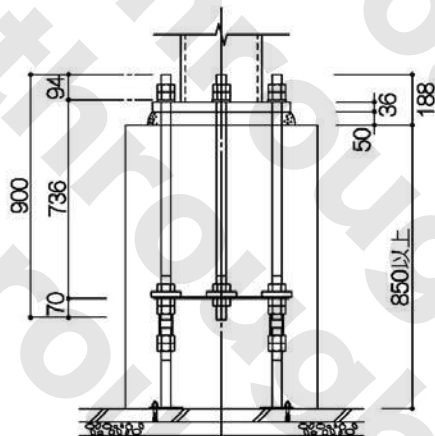
No.20 : DB-300-16B



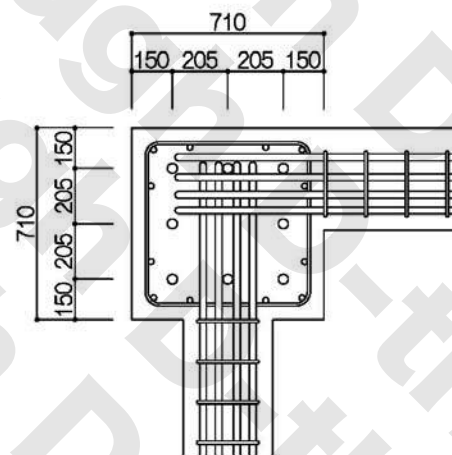
ベースプレート



基礎柱

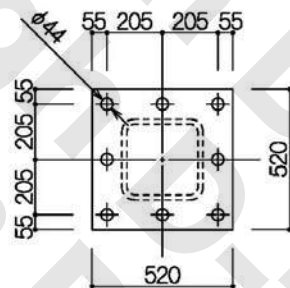


アンカーフレーム

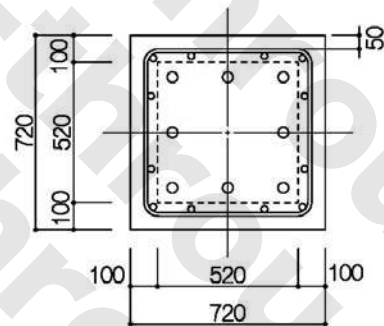


鉄筋納まり図 (例)

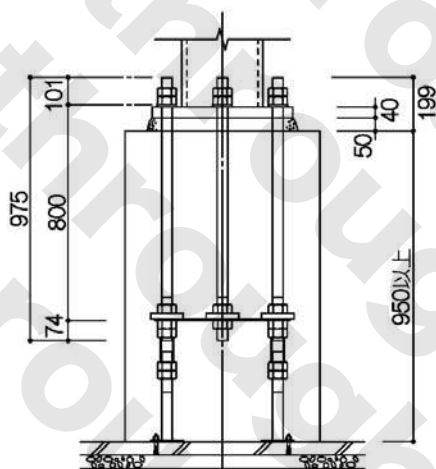
No.21 : DB-300-19B



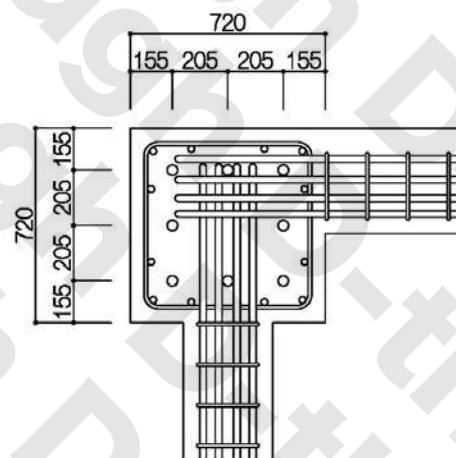
ベースプレート



基礎柱

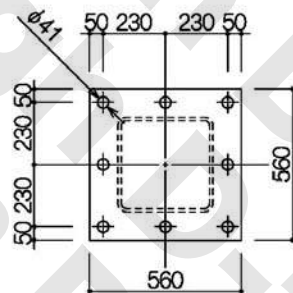


アンカーフレーム

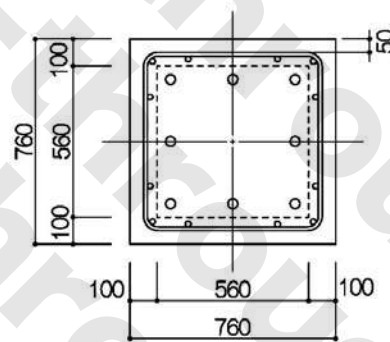


鉄筋納まり図 (例)

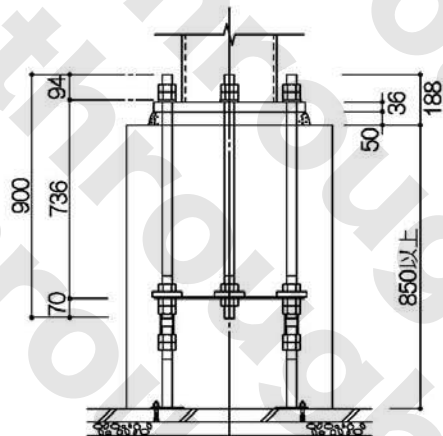
No.22 : DB-350-12B



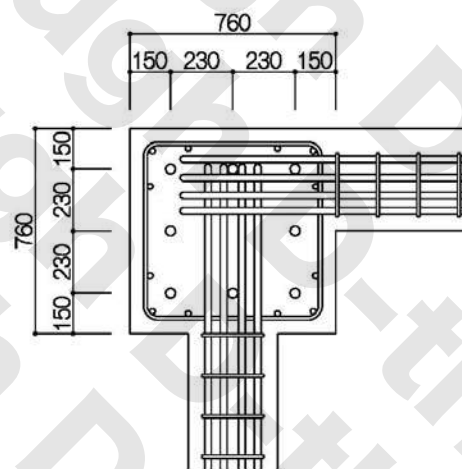
ベースプレート



基礎柱

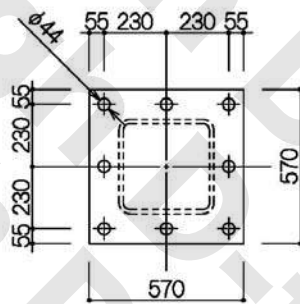


アンカーフレーム

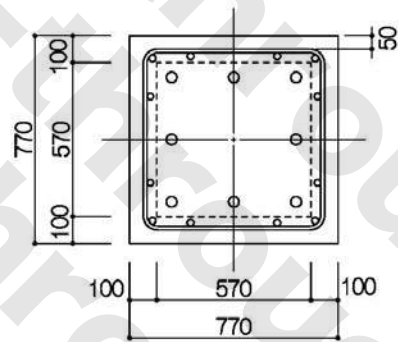


鉄筋納まり図 (例)

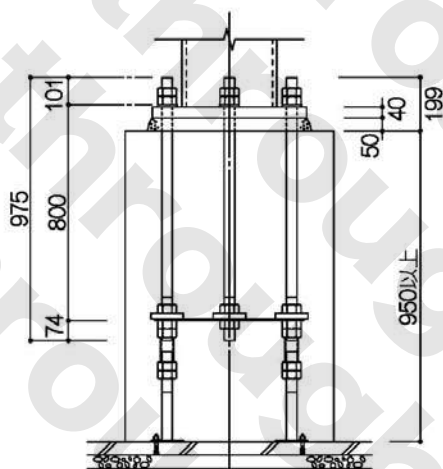
No.23 : DB-350-16B



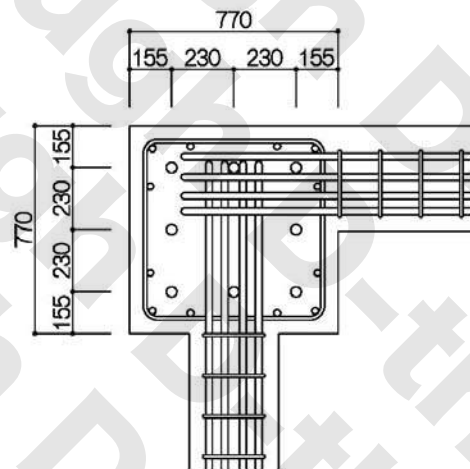
ベースプレート



基礎柱

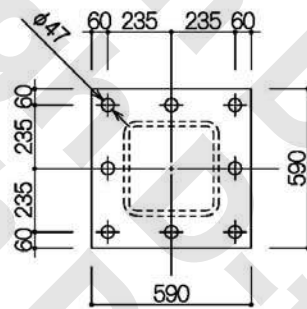


アンカーフレーム

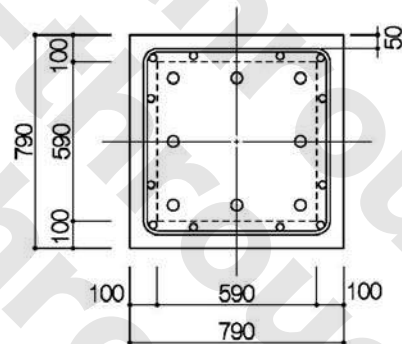


鉄筋納まり図 (例)

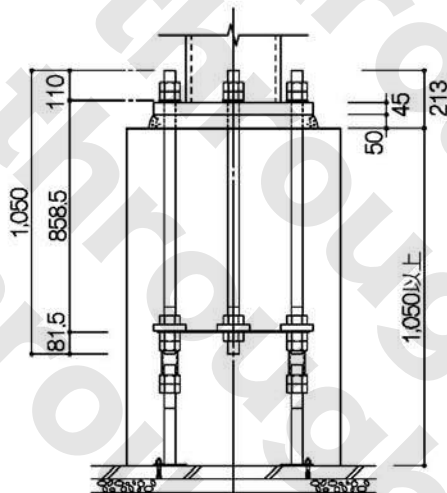
No.24 : DB-350-19B



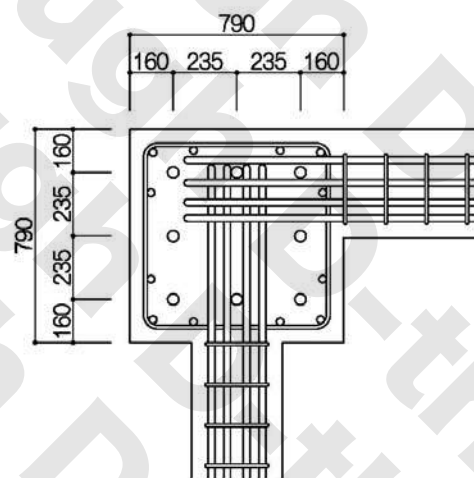
ベースプレート



基礎柱

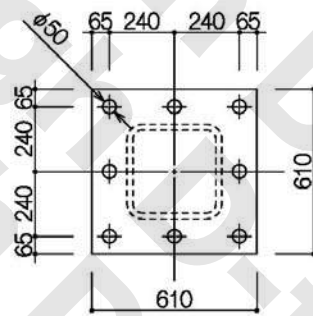


アンカーフレーム

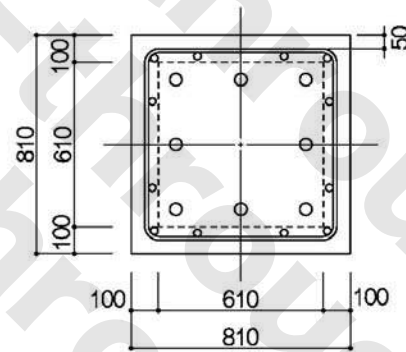


鉄筋納まり図 (例)

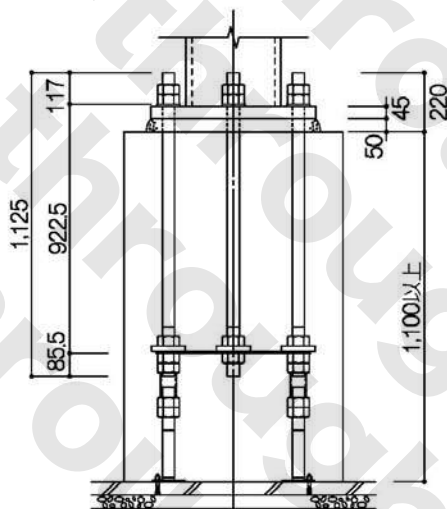
No.25 : DB-350-22B



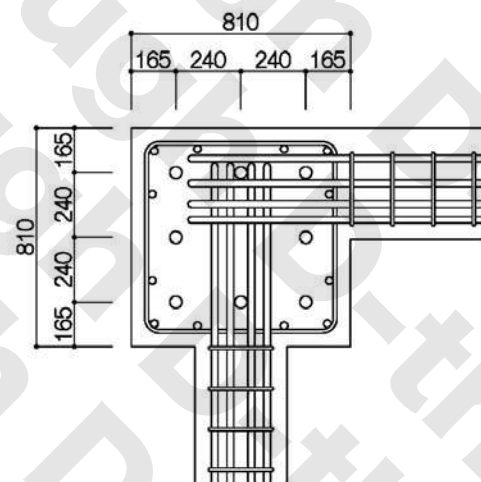
ベースプレート



基礎柱

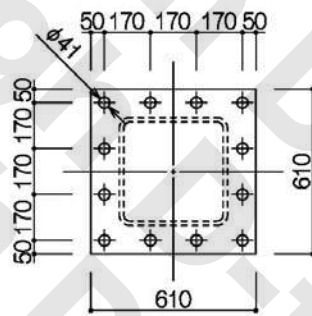


アンカーフレーム

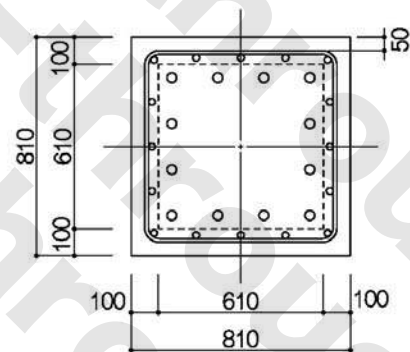


鉄筋納まり図 (例)

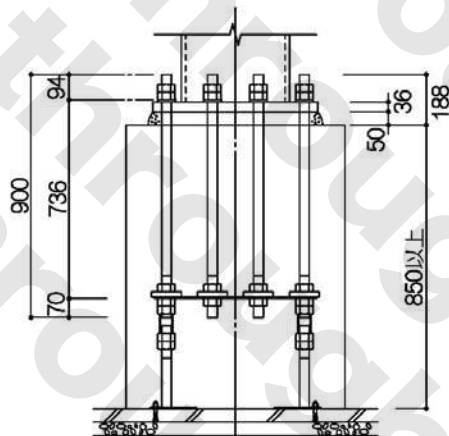
No.26 : DB-400-16B



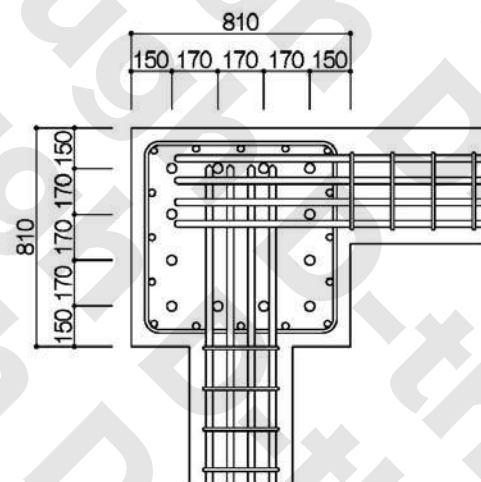
ベースプレート



基礎柱

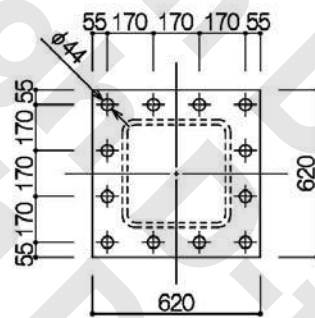


アンカーフレーム

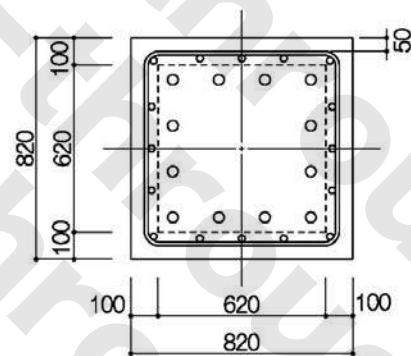


鉄筋納まり図 (例)

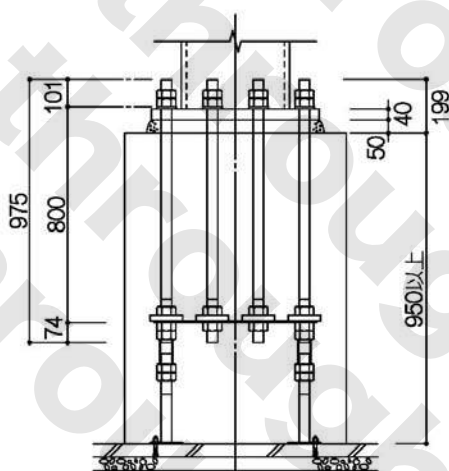
No.27 : DB-400-19B



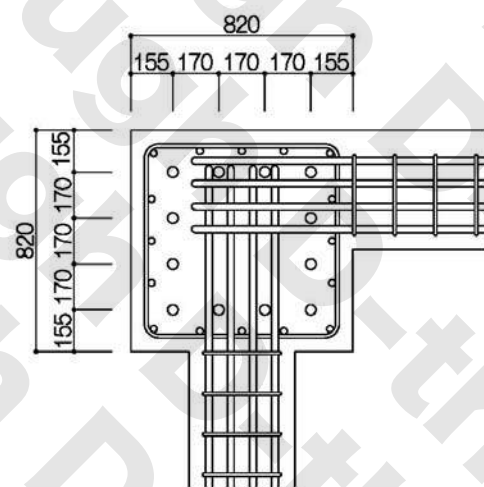
ベースプレート



基礎柱

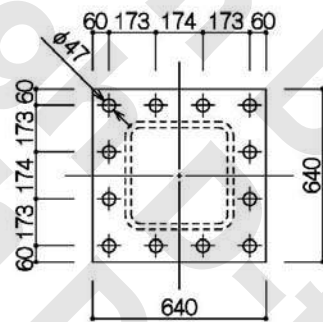


アンカーフレーム

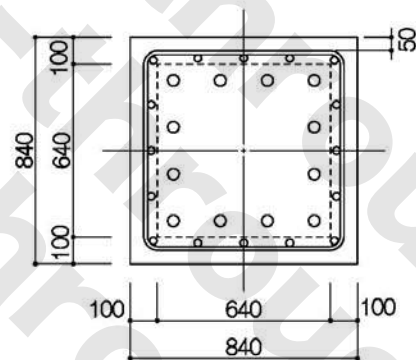


鉄筋納まり図 (例)

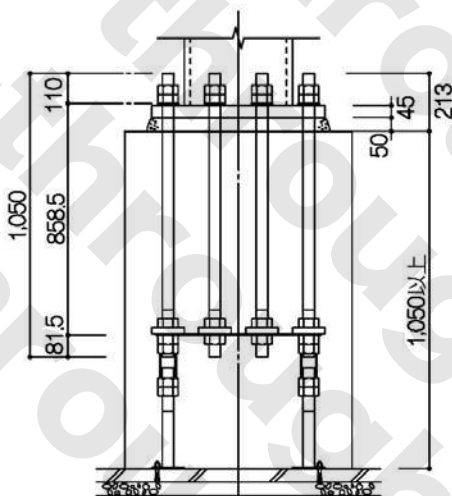
No.28 : DB-400-22B



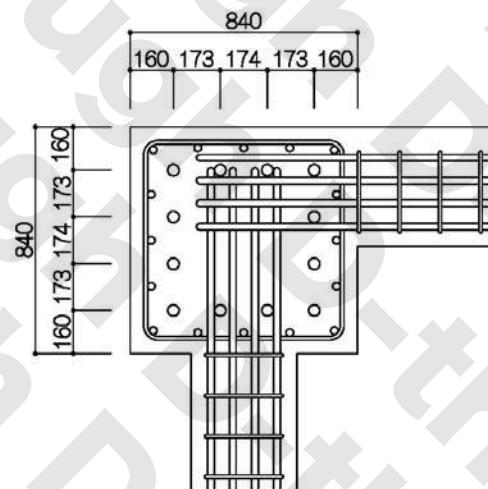
ベースプレート



基礎柱



アンカーフレーム



鉄筋納まり図 (例)

3. 設計資料

本章は、Dスルー標準柱脚の部材寸法、回転剛性、曲げせん断耐力等をどのような根拠で設定したかを解説する資料である。

3-1. 設計方針

Dスルー標準柱脚は、伸び能力のあるアンカーボルトを用いて、柱より先に降伏する柱脚を設計する。柱脚の曲げ耐力の目標値として、軸力=0における柱の曲げ耐力の1/2程度とする。

ベースプレートの幅は柱とアンカーボルト芯の空きから最小サイズとするが、アンカーボルトは、柱脚の回転剛性を大きくするためにできる限り外側に配置する。また、アンカーボルトの配置には基礎梁の鉄筋との干渉を考慮する。アンカーボルトの全長はJIS規格として最小の25dを確保する。

3-2. 準拠する規準

建築基準法・同施行令および関連告示

2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書

建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説 改訂版
(日本鋼構造協会, 2011)

鋼構造設計規準 (日本建築学会, 2005)

鋼構造接合部設計指針 (日本建築学会, 2012)

各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010)

鉄筋コンクリート造計算規準・同解説 (日本建築学会, 2010)

鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針 (日本建築学会, 1999)

鐵骨柱脚の耐震設計 (秋山宏, 技報堂出版, 1985)

3-3. 対象とする柱サイズ

中小規模の鉄骨造建物を想定し、冷間成形角形鋼管 (BCR295) の□-200 から□-400 のうち幅厚比種別が FA の 15 種類とする。

軸力=0 における柱の曲げ耐力は下式による。

$${}_cM_p = Z_p \cdot \sigma_y \quad (3-1)$$

ここで、

Z_p : 柱の塑性断面係数

σ_y : 柱の材料強度(=1.1F=1.1×295N/mm²)

表 3-1 対象とする柱の幅厚比種別と曲げ耐力

No.	名称	柱断面	幅厚比種別	Z_p (cm ³)	${}_cM_p$ (kNm)
1	DB-200-9	□-200×200×9	FA	465	151
2	DB-200-12	□-200×200×12	FA	588	191
3	DB-250-9	□-250×250×9	FA	750	243
4	DB-250-12	□-250×250×12	FA	959	311
5	DB-250-16	□-250×250×16	FA	1090	354
6	DB-300-12	□-300×300×12	FA	1420	461
7	DB-300-16	□-300×300×16	FA	1810	587
8	DB-300-19	□-300×300×19	FA	2070	672
9	DB-350-12	□-350×350×12	FA	1970	639
10	DB-350-16	□-350×350×16	FA	2530	821
11	DB-350-19	□-350×350×19	FA	2910	944
12	DB-350-22	□-350×350×22	FA	3270	1061
13	DB-400-16	□-400×400×16	FA	3370	1094
14	DB-400-19	□-400×400×19	FA	3900	1266
15	DB-400-22	□-400×400×22	FA	4390	1425

3-4. アンカーボルトの配置

アンカーボルトの本数に応じて以下の配置を用いる。

ここで、 e は端あき、 c は柱面とアンカーボルト芯の間隔、 p はアンカーボルト芯々間隔（ q はそのベースプレートに沿った方向の寸法）、 D_c は柱の幅、 R_c は柱のアール部外径の半径、 d_b はアンカーボルト径（ねじの呼び）、 R_z は座金の外径、 w は柱の溶接余盛寸法、 s は溶接余盛と座金の隙間である。ただし、アンカーボルト間隔は、基礎梁の主筋が通過できるように 55mm 以上とする。

(1) 4本タイプ

アンカーボルトは柱のアール部で 45 度方向に図 3-1 に示す間隔を確保する。

$$c \geq \frac{1}{\sqrt{2}}(R_c + w + s + 0.5R_z) - R_c \quad (3-2)$$

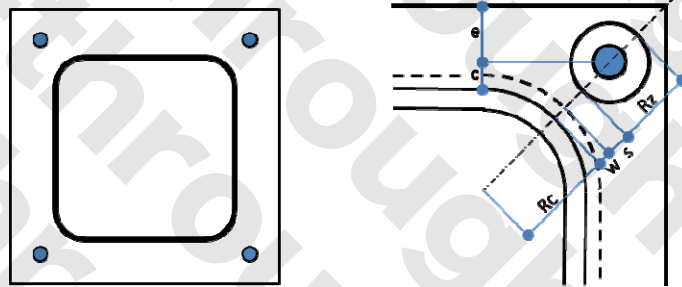


図 3-1 4本タイプのアンカーボルト配置

(2) 8本（隅切）タイプ

アンカーボルトは柱面と垂直方向に図 3-2 に示す間隔を確保する。

$$c \geq R_c + w + s + 0.5R_z$$

$$q = \frac{p}{\sqrt{2}} = \frac{2.5d_b}{\sqrt{2}} \quad (3-3)$$

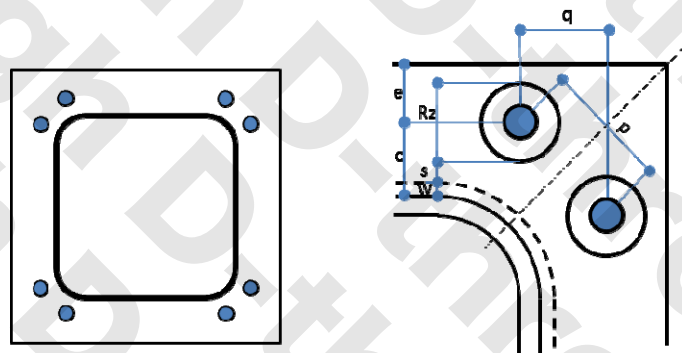


図 3-2 8本（隅切）タイプのアンカーボルト配置

(3) 12 本（隅 3 本）タイプ

アンカーボルトは柱面と垂直方向に図 3-3 に示す間隔を確保する。

$$c \geq R_c + w + s + 0.5R_z$$

$$q = p = 2.5d_b$$

(3-4)

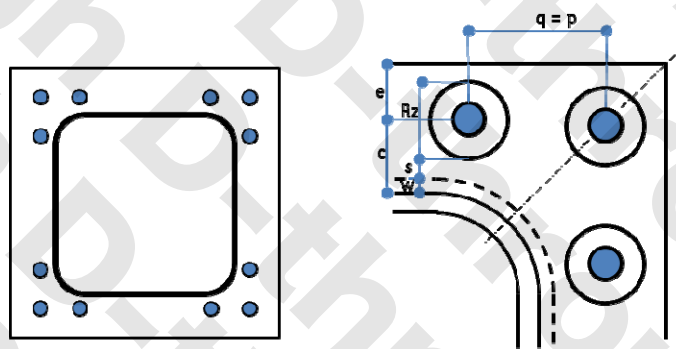


図 3-3 12 本（隅 3 本）タイプのアンカーボルト配置

(4) 8 本（均等）タイプ

アンカーボルトは柱面と垂直方向に図 3-4 に示す間隔を確保する。

$$c \geq R_c + w + s + 0.5R_z$$

$$q = (D_c + 2c) / 2$$

(3-5)

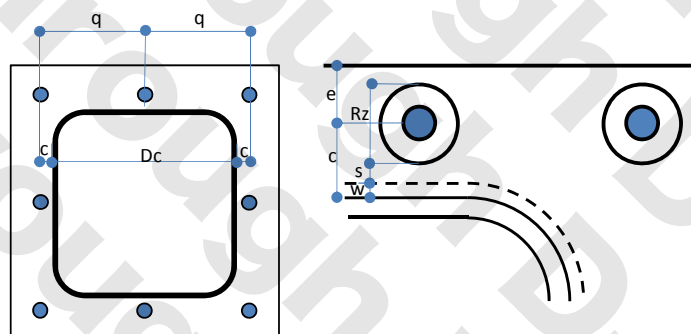


図 3-4 8 本（均等）タイプのアンカーボルト配置

(5) 12 本 (均等) タイプ

アンカーボルトは柱面と垂直方向に図 3-5 に示す間隔を確保する。

$$c \geq R_c + w + s + 0.5R_z$$

(3-6)

$$q = (D_c + 2c) / 3$$

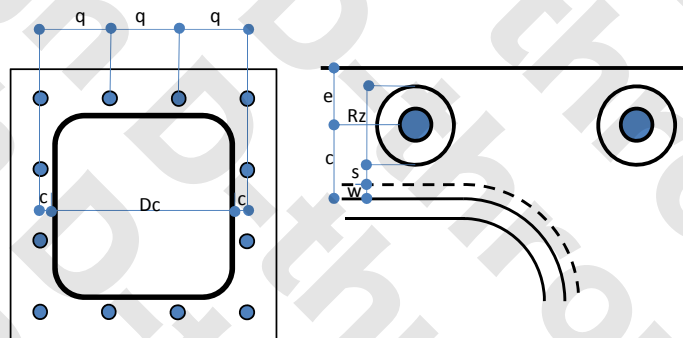


図 3-5 12 本 (均等) タイプのアンカーボルト配置

表 3-2 アンカーボルトの配置

ボルト	計算条件					共通	4本	8本(隅切)		12本(隅3本)		8本(均等) 12本(均等)
	R_z	t_c	R_c	w	s			c	q	c	$q = p$	
M27	56	12	30	6	10	45	25	45	55	45	70	45
M30	60	12	30	6	10	50	25	50	55	50	75	50
M33	63	16	40	8	10	50	25	50	60	50	85	50
M36	66	16	40	8	10	50	25	55	65	55	90	55
M39	72	19	47.5	9.5	10	55	30	55	70	55	100	55
M42	78	19	47.5	9.5	10	60	30	60	75	60	105	60
M45	85	22	55	11	10	65	30	65	80	65	115	65

3-5. アンカーボルトの有効長さ

アンカーボルトの有効長さ (L_e) は $20d_b$ 以上とし、全長 ($25d_b$) から座金より上の余長 (L_u)、定着板より下の余長 (L_d) を差し引いて求める。

$$\begin{aligned} L_e &= 25d_b - L_u - L_d \leq 20d_b \\ L_u &= 2h_n + d_b \\ L_d &= 2h_n + 3p_n \end{aligned} \quad (3-7)$$

ここで、

h_n : ナット高さ

p_n : ネジピッチ

d_b : アンカーボルト径 (ねじの呼び)

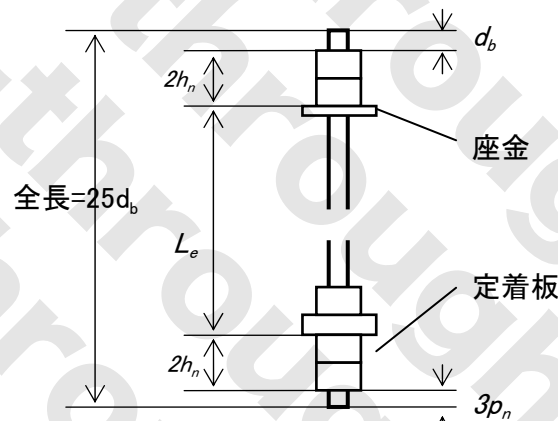


図 3-6 アンカーボルトの各部長さ

表 3-3 アンカーボルトの有効長さの検討

	d_b	$25d_b$	h_n	p_n	L_d	L_u	L_e	$20d_b$	判定
M27	27	675	22	3.0	53.0	71	551.0	540	OK
M30	30	750	24	3.5	58.5	78	613.5	600	OK
M33	33	825	26	3.5	62.5	85	677.5	660	OK
M36	36	900	29	4.0	70.0	94	736.0	720	OK
M39	39	975	31	4.0	74.0	101	800.0	780	OK
M42	42	1050	34	4.5	81.5	110	858.5	840	OK
M45	45	1125	36	4.5	85.5	117	922.5	900	OK

3-6. d_t の計算

柱サイズごとにアンカーボルトの配置と径を設定し、柱中心から引張側アンカーボルト重心までの距離 (d_t) を下式で算定する。ここで、 D_c は柱幅、 c は柱面とアンカーボルト芯の間隔、 q はアンカーボルト芯々間隔のベースプレートに沿った方向の寸法である。図 3-7 に d_t 算定用の引張側アンカーボルトを●で示す。

- (1) 4 本タイプ

$$d_t = D_c/2 + c \quad (3-8)$$

- (2) 8 本 (隅切) タイプ

$$d_t = D_c/2 + c - q/2 \quad (3-9)$$

- (3) 12 本 (隅 3 本) タイプ

$$d_t = D_c/2 + c - q/3 \quad (3-10)$$

- (4) 8 本 (均等) タイプ

$$d_t = D_c/2 + c \quad (3-11)$$

- (5) 12 本 (均等) タイプ

$$d_t = D_c/2 + c - q/3 \quad (3-12)$$

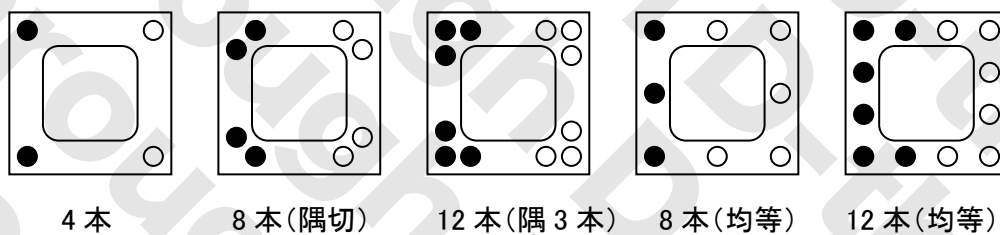


図 3-7 d_t 計算用の引張側アンカーボルト(●の位置)

表 3-4 d_t の計算

No.	名称	D_c	ねじの呼び	配置タイプ	e	c	q	d_t
1	DB-200-9	200	M30	4本	50	25		125
2	DB-200-12	200	M36	4本	50	25		125
3	DB-250-9A	250	M27	8本(隅切)	45	45	55	143
4	DB-250-12A	250	M30	8本(隅切)	50	50	55	148
5	DB-250-16A	250	M33	8本(隅切)	50	50	60	145
6	DB-300-12A	300	M33	8本(隅切)	50	50	60	170
7	DB-300-16A	300	M36	8本(隅切)	50	55	65	173
8	DB-300-19A	300	M39	8本(隅切)	55	55	70	170
9	DB-350-12A	350	M36	8本(隅切)	50	55	65	198
10	DB-350-16A	350	M39	8本(隅切)	55	55	70	195
11	DB-350-19A	350	M42	8本(隅切)	60	60	75	198
12	DB-350-22A	350	M45	8本(隅切)	65	65	80	200
13	DB-400-16A	400	M36	12本(隅3本)	50	55	90	225
14	DB-400-19A	400	M39	12本(隅3本)	55	55	100	222
15	DB-400-22A	400	M42	12本(隅3本)	60	60	105	225
16	DB-250-9B	250	M27	8本(均等)	45	45	170	170
17	DB-250-12B	250	M30	8本(均等)	50	50	175	175
18	DB-250-16B	250	M33	8本(均等)	50	50	175	175
19	DB-300-12B	300	M33	8本(均等)	50	50	200	200
20	DB-300-16B	300	M36	8本(均等)	50	55	205	205
21	DB-300-19B	300	M39	8本(均等)	55	55	205	205
22	DB-350-12B	350	M36	8本(均等)	50	55	230	230
23	DB-350-16B	350	M39	8本(均等)	55	55	230	230
24	DB-350-19B	350	M42	8本(均等)	60	60	235	235
25	DB-350-22B	350	M45	8本(均等)	65	65	240	240
26	DB-400-16B	400	M36	12本(均等)	50	55	170	198
27	DB-400-19B	400	M39	12本(均等)	55	55	170	198
28	DB-400-22B	400	M42	12本(均等)	60	60	173	202

3-7. 回転剛性の計算

柱脚の回転剛性 (K_{BS}) は下式による。

$$K_{BS} = \frac{E \cdot n_t \cdot A_b \cdot (dt + dc)^2}{2L_b} \quad (3-13)$$

ここで、

E : アンカーボルトのヤング係数

n_t : 引張側アンカーボルトの本数

A_b : アンカーボルトの軸部の断面積

dt : 柱中心から引張側アンカーボルト重心までの距離

dc : 柱中心からフランジまでの距離 ($= D_o/2$)

L_b : アンカーボルトの有効長さ

表 3-5 回転剛性の計算

No.	名称	ねじの呼び	n_t	$A_b(\text{mm}^2)$	dt	dc	L_b	$K_{BS}(\text{kNm/rad})$		
1	DB-200-9	M30	2	594	125	100	613.5	10048	→	10000
2	DB-200-12	M36	2	864	125	100	736.0	12183	→	12200
3	DB-250-9A	M27	4	485	143	125	551.0	25824	→	25800
4	DB-250-12A	M30	4	594	148	125	613.5	29477	→	29500
5	DB-250-16A	M33	4	731	145	125	677.5	32249	→	32200
6	DB-300-12A	M33	4	731	170	150	677.5	45299	→	45300
7	DB-300-16A	M36	4	864	173	150	736.0	50059	→	50100
8	DB-300-19A	M39	4	1030	170	150	800.0	54054	→	54100
9	DB-350-12A	M36	4	864	198	175	736.0	66784	→	66800
10	DB-350-16A	M39	4	1030	195	175	800.0	72266	→	72300
11	DB-350-19A	M42	4	1180	198	175	858.5	78195	→	78200
12	DB-350-22A	M45	4	1370	200	175	922.5	85625	→	85600
13	DB-400-16A	M36	6	864	225	200	736.0	130403	→	130000
14	DB-400-19A	M39	6	1030	222	200	800.0	140786	→	141000
15	DB-400-22A	M42	6	1180	225	200	858.5	152684	→	153000
16	DB-250-9B	M27	3	485	170	125	551.0	23555	→	24000
17	DB-250-12B	M30	3	594	175	125	613.5	26795	→	27000
18	DB-250-16B	M33	3	731	175	125	677.5	29860	→	30000
19	DB-300-12B	M33	3	731	200	150	677.5	40643	→	41000
20	DB-300-16B	M36	3	864	205	150	736.0	45492	→	45000
21	DB-300-19B	M39	3	1030	205	150	800.0	49894	→	50000
22	DB-350-12B	M36	3	864	230	175	736.0	59209	→	59000
23	DB-350-16B	M39	3	1030	230	175	800.0	64939	→	65000
24	DB-350-19B	M42	3	1180	235	175	858.5	71048	→	71000
25	DB-350-22B	M45	3	1370	240	175	922.5	78649	→	79000
26	DB-400-16B	M36	6	864	198	200	736.0	114552	→	115000
27	DB-400-19B	M39	6	1030	198	200	800.0	125636	→	126000
28	DB-400-22B	M42	6	1180	202	200	858.5	136757	→	137000

3-8. 曲げ耐力の計算

(1) 柱脚の許容曲げ耐力

① コーナー配置（共通を含む）

コーナー配置（共通を含む）の許容曲げ耐力は、ベースプレートの四隅にアンカーボルトが集中していると考え、アンカーボルトとベースプレート下面のコンクリートの許容曲げ耐力を単純累加して表 3-9 の式で算定する。

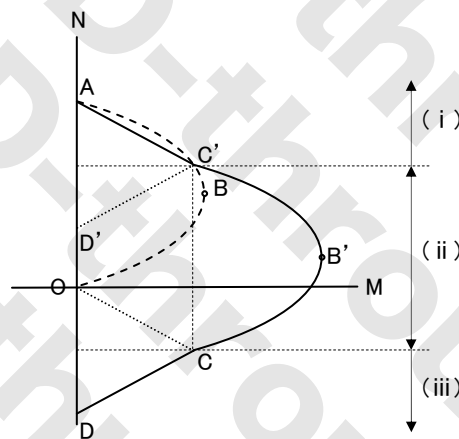
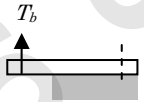
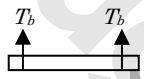


図 3-10 コーナー配置（共通を含む）の許容曲げ耐力累加曲線

表 3-9 コーナー配置（共通を含む）柱脚の許容曲げ耐力式

軸力の範囲			曲げ耐力
(i)		$N_b \geq N > N_b - T_b$	$M_A = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_b}{N} - 1 \right)$
(ii)		$N_b - T_b \geq N > -T_b$	$M_A = T_b \cdot d_t + \frac{(N + T_b) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_b}{N_b} \right)$
(iii)		$-T_b \geq N > -2T_b$	$M_A = (N + 2 \cdot T_b) \cdot d_t$

ここで、

N_b : 基礎コンクリートの許容支圧耐力

長期許容耐力算定時 ($N_b = 1/3 \times B \cdot D \cdot F_c$)

短期許容耐力算定時 ($N_b = 2/3 \times B \cdot D \cdot F_c$)

B, D : ベースプレートの奥行・幅

F_c : コンクリート設計基準強度 ($=21\text{N/mm}^2$)

T_b : アンカーボルトの許容引張耐力 ($T_b = n_t \cdot A_e \cdot f_t$)

f_t : アンカーボルトの許容引張応力度

長期許容耐力算定時 ($f_t = 2/3 \times F$)

短期許容耐力算定時 ($f_t = F$)

n_t : 引張側アンカーボルト本数

A_e : アンカーボルトのねじ部断面積

F : アンカーボルトの F 値 ($=235\text{N/mm}^2$ 、M45 は 215N/mm^2)

d_t : 柱中心から引張側アンカーボルト重心までの距離

② 均等配置

均等配置の許容曲げ耐力は、外側と中間のアンカーボルトの位置を考慮して、アンカーボルトとベースプレート下面のコンクリートの許容曲げ耐力を単純累加して表 3-10、表 3-11 の式で算定する。

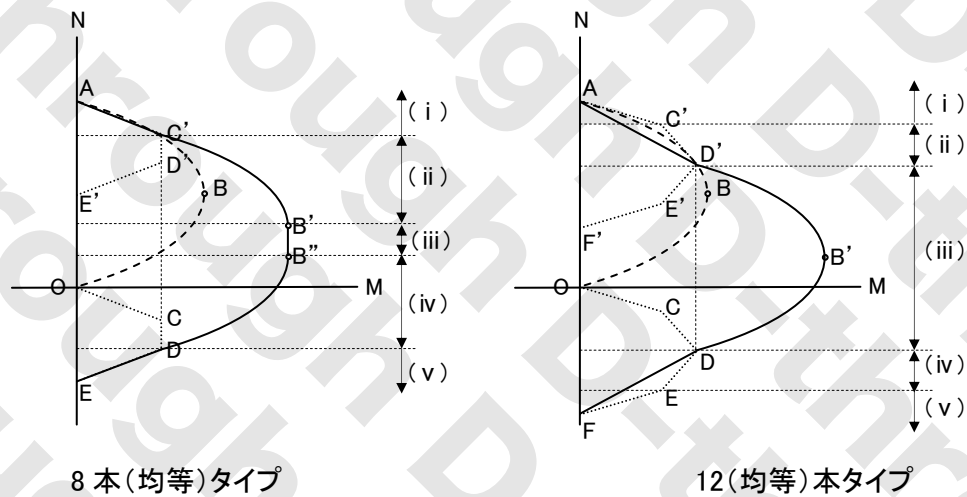
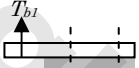
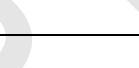


図 3-11 均等配置の許容曲げ耐力累加曲線

表 3-10 均等配置(8本)柱脚の許容曲げ耐力式

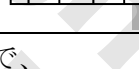
軸力の範囲			曲げ耐力
(i)		$N_b \geq N > N_b - T_{b1}$	$M_A = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_b}{N} - 1 \right)$
(ii)		$N_b - T_{b1} \geq N > 0.5N_b - T_{b1}$	$M_A = T_{b1} \cdot d_t + \frac{(N + T_{b1}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{b1}}{N_b} \right)$
(iii)		$0.5N_b - T_{b1} \geq N > 0.5N_b - T_{b1} - T_{b2}$	$M_A = T_{b1} \cdot d_t + \frac{1}{8} N_b \cdot D$
(iv)		$0.5N_b - T_{b1} - T_{b2} \geq N > -T_{b1} - T_{b2}$	$M_A = T_{b1} \cdot d_t + \frac{(N + T_{b1} + T_{b2}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{b1} + T_{b2}}{N_b} \right)$
(v)		$-T_{b1} - T_{b2} \geq N > -2T_{b1} - T_{b2}$	$M_A = (N + 2 \cdot T_{b1} + T_{b2}) \cdot d_t$

ここで、

T_{b1} : 外側の引張側アンカーボルトの許容引張耐力 ($T_{b1} = 3 \cdot A_e \cdot f_t$)

T_{b2} : 中間の引張側アンカーボルトの許容引張耐力 ($T_{b2} = 2 \cdot A_e \cdot f_t$)

表 3-11 均等配置(12本)柱脚の許容曲げ耐力式

軸力の範囲			曲げ耐力
(i)		$N_b \geq N > N_b - T_{b1} - T_{b2}$	$M_A = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_b}{N} - 1 \right)$
(ii)		$N_b - T_{b1} - T_{b2} \geq N > -T_{b1} - T_{b2}$	$M_A = (T_{b1} + T_{b2}) \cdot d_t + \frac{(N + T_{b1} + T_{b2}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{b1} + T_{b2}}{N_b} \right)$
(iii)		$-T_{b1} - T_{b2} \geq N > -2T_{b1} - 2T_{b2}$	$M_A = (N + 2 \cdot T_{b1} + 2T_{b2}) \cdot d_t$
(iv)			
(v)			

ここで、

T_{b1} : 外側の引張側アンカーボルトの許容引張耐力 ($T_{b1} = 4 \cdot A_e \cdot f_t$)

T_{b2} : 中間の引張側アンカーボルトの許容引張耐力 ($T_{b2} = 2 \cdot A_e \cdot f_t$)

(2) 全塑性曲げ耐力

① コーナー配置（共通を含む）

コーナー配置（共通を含む）の全塑性曲げ耐力は、ベースプレートの四隅にアンカーボルトが集中していると考え、アンカーボルトとベースプレート下面のコンクリートの全塑性曲げ耐力を単純累加して表 3-12 の式で算定する。

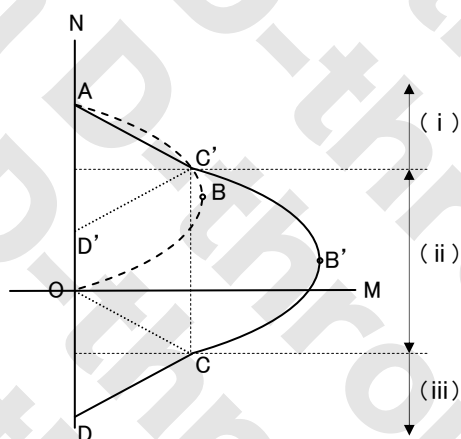
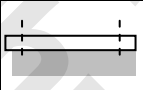
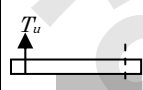


図 3-12 コーナー配置（共通を含む）の全塑性曲げ耐力累加曲線

表 3-12 コーナー配置（共通を含む）柱脚の全塑性曲げ耐力式

軸力の範囲			曲げ耐力
(i)		$N_u \geq N > N_u - T_u$	$M_u = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_u}{N} - 1 \right)$
(ii)		$N_u - T_u \geq N > -T_u$	$M_u = T_u \cdot d_t + \frac{(N + T_u) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_u}{N_u} \right)$
(iii)		$-T_u \geq N > -2T_u$	$M_u = (N + 2 \cdot T_u) \cdot d_t$

ここで、

N_u : 基礎コンクリートの最大圧縮耐力 ($N_u = 0.85 \times B \cdot D \cdot F_c$)

B, D : ベースプレートの奥行・幅

F_c : コンクリートの設計基準強度 ($=21\text{N/mm}^2$)

T_u : 引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力 ($T_u = n_t \cdot A_b \cdot F$)

A_b : アンカーボルトの軸部断面積

F : アンカーボルトの F 値 ($=235\text{N/mm}^2$, M45 は 215N/mm^2)

d_t : 柱中心から引張側アンカーボルト重心までの距離

② 均等配置

均等配置の全塑性曲げ耐力は、外側と中間のアンカーボルトの位置を考慮して、アンカーボルトとベースプレート下面のコンクリートの全塑性曲げ耐力を単純累加して表 3-13、表 3-14 の式で算定する。

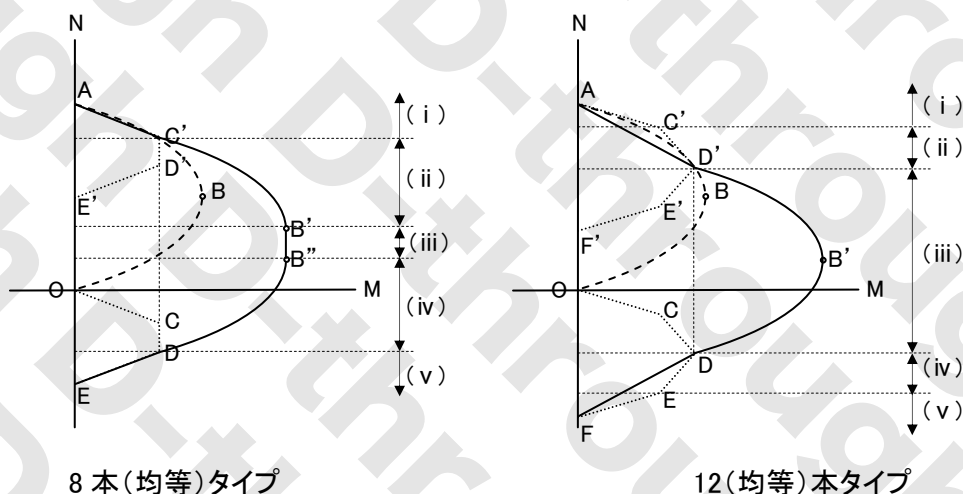


図 3-13 均等配置の全塑性曲げ耐力累加曲線

表 3-13 均等配置(8 本)柱脚の全塑性曲げ耐力式

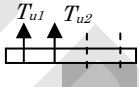
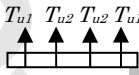
軸力の範囲			曲げ耐力
(i)		$N_u \geq N > N_u - T_{u1}$	$M_u = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_u}{N} - 1 \right)$
(ii)		$N_u - T_{u1} \geq N > 0.5N_u - T_{u1}$	$M_u = T_{u1} \cdot d_t + \frac{(N + T_{u1}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{u1}}{N_u} \right)$
(iii)		$0.5N_u - T_{u1} \geq N > 0.5N_u - T_{u1} - T_{u2}$	$M_u = T_{u1} \cdot d_t + \frac{1}{8} N_u \cdot D$
(iv)		$0.5N_u - T_{u1} - T_{u2} \geq N > -T_{u1} - T_{u2}$	$M_u = T_{u1} \cdot d_t + \frac{(N + T_{u1} + T_{u2}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{u1} + T_{u2}}{N_u} \right)$
(v)		$-T_{u1} - T_{u2} \geq N > -2T_{u1} - T_{u2}$	$M_u = (N + 2 \cdot T_{u1} + T_{u2}) \cdot d_t$

ここで、

T_{u1} : 外側の引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力 ($T_{u1} = 3 \cdot A_b \cdot F$)

T_{u2} : 中間の引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力 ($T_{u2} = 2 \cdot A_b \cdot F$)

表 3-14 均等配置 (12 本) 柱脚の全塑性曲げ耐力式

軸力の範囲			曲げ耐力
(i) (ii)		$N_u \geq N >$ $N_u - T_{u1} - T_{u2}$	$M_u = N \cdot d_t \cdot \left(\frac{N_u}{N} - 1 \right)$
(iii)		$N_u - T_{u1} - T_{u2} \geq N >$ $-T_{u1} - T_{u2}$	$M_u = (T_{u1} + T_{u2}) \cdot d_t$ $+ \frac{(N + T_{u1} + T_{u2}) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_{u1} + T_{u2}}{N_u} \right)$
(iv) (v)		$-T_{u1} - T_{u2} \geq N >$ $-2T_{u1} - 2T_{u2}$	$M_u = (N + 2 \cdot T_{u1} + 2T_{u2}) \cdot d_t$

ここで、

T_{u1} : 外側の引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力 ($T_{u1} = 4 \cdot A_b \cdot F$)

T_{u2} : 中間の引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力 ($T_{u2} = 2 \cdot A_b \cdot F$)

(3) 柱の曲げ耐力

柱の許容曲げ耐力および全塑性曲げ耐力を下式で算定する。

表 3-15 柱の短期許容曲げ耐力

軸力の範囲	曲げ耐力
${}_cN \geq N > 0$	${}_cM_A = Z \cdot f_b \cdot \frac{{}_cN - N}{{}_cN}$
$0 \geq N > -{}_cN$	${}_cM_A = Z \cdot f_b \cdot \frac{N + N}{{}_cN}$

ここで、

${}_cN$: 柱の短期軸耐力 (${}_cN = {}_cA \cdot f_t$)

f_t : 柱材の短期引張許容応力度 (=295N/mm²)

f_b : 柱材の短期曲げ許容応力度 (=295N/mm²)

${}_cA$: 柱の断面積

Z : 柱の断面係数

表 3-16 柱の全塑性曲げ耐力

軸力の範囲	曲げ耐力
${}_cN_u \geq N > {}_cN_b$	${}_cM_u = Z_p \cdot \sigma_y \cdot \frac{{}_cN_u - N}{{}_cN_u - {}_cN_b}$
${}_cN_b \geq N > -{}_cN_b$	${}_cM_u = Z_p \cdot \sigma_y$
$-{}_cN_b \geq N > -{}_cN_u$	${}_cM_u = Z_p \cdot \sigma_y \cdot \frac{{}_cN_u + N}{{}_cN_u - {}_cN_b}$

ここで、

${}_cN_u$: 柱の軸耐力 (${}_cN_u = {}_cA \cdot \sigma_y$)

${}_cN_b$: 柱の軸耐力 (${}_cN_b = {}_cN_u / 4$)

σ_y : 柱材の材料強度 (=1.1F=1.1×295N/mm²)

Z_p : 柱の塑性断面係数

下表に計算諸元と、柱の軸力 $N=0$ における柱脚の全塑性曲げ耐力 (M_u) と柱の全塑性曲げ耐力 (cM_u) の比 (M_u/cM_u) を示す。柱脚の曲げ耐力として目安である柱の 0.5 倍以上を確保している。

表 3-17 コーナー配置(共通を含む)柱脚と柱の全塑性曲げ耐力

No.	名称	ねじの呼び	nt	D,B	d_t	N_u (kN)	T_{u1} (kN)	M_u (kNm)	M_u/cM_u
1	DB-200-9	M30	2	350	125	2187	279	78	0.51
2	DB-200-12	M36	2	350	125	2187	406	109	0.57
3	DB-250-9A	M27	4	430	143	3300	456	149	0.61
4	DB-250-12A	M30	4	450	148	3615	558	189	0.61
5	DB-250-16A	M33	4	450	145	3615	687	225	0.64
6	DB-300-12A	M33	4	500	170	4463	687	262	0.57
7	DB-300-16A	M36	4	510	173	4643	812	311	0.53
8	DB-300-19A	M39	4	520	170	4827	968	366	0.54
9	DB-350-12A	M36	4	560	198	5598	812	355	0.56
10	DB-350-16A	M39	4	570	195	5799	968	419	0.51
11	DB-350-19A	M42	4	590	198	6214	1109	488	0.52
12	DB-350-22A	M45	4	610	200	6642	1178	531	0.50
13	DB-400-16A	M36	6	610	225	6642	1218	578	0.53
14	DB-400-19A	M39	6	620	222	6862	1452	677	0.53
15	DB-400-22A	M42	6	640	225	7311	1664	786	0.55

表 3-18 均等配置柱脚と柱の全塑性曲げ耐力

No.	名称	ねじの呼び	nt1	nt2	D,B	d_t	N_u (kN)	T_{u1} (kN)	T_{u2} (kN)	M_u (kNm)	M_u/cM_u
16	DB-250-9B	M27	3	2	430	170	3300	342	228	159	0.66
17	DB-250-12B	M30	3	2	450	175	3615	419	279	200	0.64
18	DB-250-16B	M33	3	2	450	175	3615	515	344	238	0.67
19	DB-300-12B	M33	3	2	500	200	4463	515	344	276	0.60
20	DB-300-16B	M36	3	2	510	205	4643	609	406	327	0.56
21	DB-300-19B	M39	3	2	520	205	4827	726	484	385	0.57
22	DB-350-12B	M36	3	2	560	230	5598	609	406	373	0.58
23	DB-350-16B	M39	3	2	570	230	5799	726	484	440	0.54
24	DB-350-19B	M42	3	2	590	235	6214	832	555	513	0.54
25	DB-350-22B	M45	3	2	610	240	6642	884	589	562	0.53
26	DB-400-16B	M36	4	2	610	255	6642	812	406	614	0.56
27	DB-400-19B	M39	4	2	620	255	6862	968	484	725	0.57
28	DB-400-22B	M42	4	2	640	260	7311	1109	555	844	0.59

3-9. せん断耐力の計算

(1) 許容せん断耐力

柱脚の許容せん断耐力は、ベースプレート下面の摩擦力 (Q_{EA}) とアンカーボルトのせん断耐力 (Q_{bA}) のその大きい方を採用する。

ベースプレート下面の摩擦力 (Q_{EA}) は、次式で算定する。

$$Q_{fA} = 0.4(N + \sum T) \quad (3-27)$$

ここで、

N : 柱脚に作用する軸力 (圧縮力)

$\sum T$: アンカーボルトに作用する引張力の和

また、アンカーボルト群のせん断耐力 (Q_{bA}) は、次式で算定する。

$$Q_{bA} = Q_{y1} \sum \sqrt{1 - \left(\frac{T_l}{T_{y1}} \right)^2} \quad (3-28)$$

ここで、

Q_{y1} : アンカーボルト 1 本の降伏せん断耐力 ($Q_{y1} = A_e \cdot f_t / \sqrt{3}$)

T_{y1} : アンカーボルト 1 本の降伏引張力 ($T_{y1} = A_e \cdot f_t$)

T_l : アンカーボルト 1 本に作用する引張力

A_e : アンカーボルトのねじ部断面積

f_t : アンカーボルトの許容引張応力度 (長期=F×2/3、短期=F)

F : アンカーボルトの F 値 (M42 以下は 235N/mm²、M45 以上は 215N/mm²)

アンカーボルトに作用する引張力 (T_l) は、短期軸力時の許容曲げ耐力 (M_A) と柱脚に作用する短期曲げモーメント (M) の比率 (M/M_A) をアンカーボルトの降伏引張力 (T_{y1}) に乗じて求める。ただし、ベースプレート下面のコンクリートが圧縮応力度を負担する範囲のアンカーボルトの引張力は $T_l=0$ としてよい。

(2) 最大せん断耐力

① コーナー配置（共通を含む）

コーナー配置（共通を含む）の最大せん断耐力は、図 3-12 の累加曲線の領域(i)～(iii)それぞれに対して、ベースプレート下面の摩擦力（ Q_{fu} ）とアンカーボルトのせん断耐力（ Q_{bu} ）を表 3-19 の式で算定し、その大きい方を採用する。

$$Q_u = \max(Q_{fu}, Q_{bu}) \quad (3-29)$$

ここで、

Q_{fu} ：ベースプレート底面の摩擦力

Q_{bu} ：アンカーボルトのせん断耐力

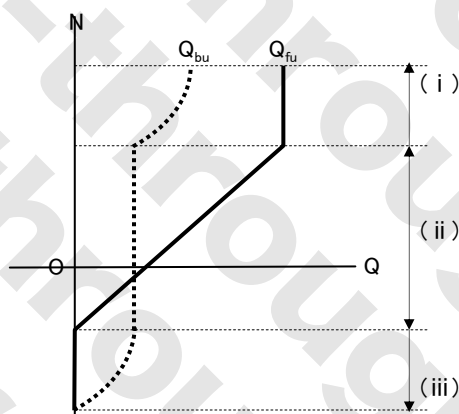


図 3-14 コーナー配置（共通を含む）の最大せん断耐力曲線

表 3-19 コーナー配置（共通を含む）柱脚の最大せん断耐力式

軸力の範囲			せん断耐力
(i)		$N_u \geq N > N_u - T_u$	$Q_{fu} = 0.5N_u$ $Q_{bu} = n_c \cdot q_{bu} + n_t \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{N_u - N}{T_u} \right)^2}$
(ii)		$N_u - T_u \leq N < N_u$	$Q_{fu} = 0.5(N + T_u)$ $Q_{bu} = n_c \cdot q_{bu}$
(iii)		$-T_u \leq N < 0$	$Q_{fu} = 0$ $Q_{bu} = n_c \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{-N - T_u}{T_u} \right)^2}$

ここで、

n_c : 圧縮側アンカーボルト本数 (=全本数の 1/2)

n_t : 引張側アンカーボルト本数 (=全本数の 1/2)

q_{bu} : アンカーボルト 1 本当たりの最大せん断耐力 ($=q_{bu} = A_e \cdot \sigma_u / \sqrt{3}$)

A_e : アンカーボルトのねじ部有効断面積

σ_u : アンカーボルトの引張強度 ($=400\text{N/mm}^2$)

N_u : 基礎コンクリートの最大圧縮耐力

T_u : 引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力

② 均等配置

均等配置の最大せん断耐力は、図 3-13 の累加曲線の領域(i)~(v)それぞれに対して、ベースプレート下面の摩擦力 (Q_{fu}) とアンカーボルトのせん断耐力 (Q_{bu}) を表 3-20、表 3-21 の式で算定し、その大きい方を採用する。

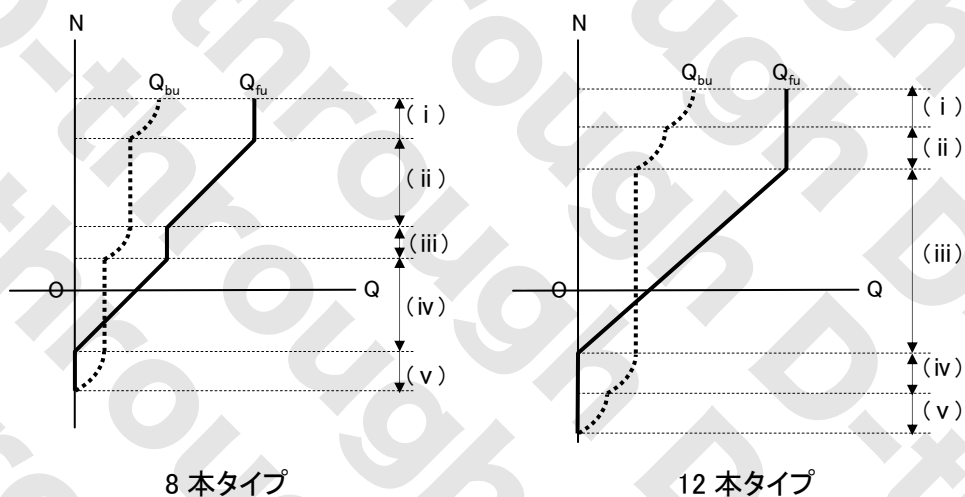
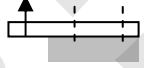
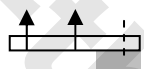
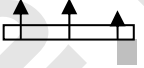


図 3-15 均等配置の最大せん断耐力曲線

表 3-20 均等配置(8 本タイプ)柱脚の最大せん断耐力式

軸力の範囲			せん断耐力
(i)		$N_u \geq N > N_u - T_{u1}$	$Q_{fu} = 0.5N_u$ $Q_{bu} = (n_1 + n_2) \cdot q_{bu}$ $+ n_1 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{N_u - N}{T_{u1}} \right)^2}$
(ii)		$N_u - T_{u1} \geq N > 0.5N_u - T_{u1}$	$Q_{fu} = 0.5(N + T_{u1})$ $Q_{bu} = (n_1 + n_2) \cdot q_{bu}$
(iii)		$0.5N_u - T_{u1} \geq N > 0.5N_u - T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0.5 \times 0.5N_u$ $Q_{bu} = n_1 \cdot q_{bu}$ $+ n_2 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{0.5N_u - T_{u1} - N}{T_{u2}} \right)^2}$
(iv)		$0.5N_u - T_{u1} - T_{u2} \geq N > -T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0.5(N + T_{u1} + T_{u2})$ $Q_{bu} = n_1 \cdot q_{bu}$
(v)		$-T_{u1} - T_{u2} \geq N > -2T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0$ $Q_{bu} = n_1 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{-N - T_{u1} - T_{u2}}{T_{u1}} \right)^2}$

ここで、

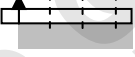
n_1 : 外側のアンカーボルト本数 (3 本)

n_2 : 中間のアンカーボルト本数 (2 本)

T_{u1} : 外側のアンカーボルトの全塑性引張耐力 ($=3 \cdot A_b \cdot F$)

T_{u2} : 中間のアンカーボルトの全塑性引張耐力 ($=2 \cdot A_b \cdot F$)

表 3-21 均等配置 (12 本タイプ) 柱脚の最大せん断耐力式

軸力の範囲			せん断耐力
(i)		$N_u \geq N > N_u - T_{u1}$	$Q_{fu} = 0.5N_u$ $Q_{bu} = (n_1 + 2n_2) \cdot q_{bu}$ $+ n_1 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{N_u - N}{T_{u1}} \right)^2}$
(ii)		$N_u - T_{u1} \geq N >$ $N_u - T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0.5N_u$ $Q_{bu} = (n_1 + n_2) \cdot q_{bu}$ $+ n_2 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{N_u - T_{u1} - N}{T_{u2}} \right)^2}$
(iii)		$N_u - T_{u1} - T_{u2}$ $\geq N >$ $-T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0.5(N + T_{u1} + T_{u2})$ $Q_{bu} = (n_1 + n_2) \cdot q_{bu}$
(iv)		$-T_{u1} - T_{u2}$ $\geq N >$ $-T_{u1} - 2T_{u2}$	$Q_{fu} = 0$ $Q_{bu} = n_1 \cdot q_{bu}$ $+ n_2 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{-T_{u1} - T_{u2} - N}{T_{u2}} \right)^2}$
(v)		$-T_{u1} - 2T_{u2}$ $\geq N >$ $-2T_{u1} - T_{u2}$	$Q_{fu} = 0$ $Q_{bu} = n_1 \cdot q_{bu} \sqrt{1 - \left(\frac{-N - T_{u1} - 2T_{u2}}{T_{u1}} \right)^2}$

ここで、

n_1 : 外側のアンカーボルト本数 (4 本)

n_2 : 中間のアンカーボルト本数 (2 本)

T_{u1} : 外側のアンカーボルトの全塑性引張耐力 ($=4 \cdot A_b \cdot F$)

T_{u2} : 中間のアンカーボルトの全塑性引張耐力 ($=2 \cdot A_b \cdot F$)

表 3-22 コーナー配置(共通を含む)柱脚の最大せん断耐力

No.	名称	ねじの呼び	$n_t=n_e$	$N_u(\text{kN})$	$T_u(\text{kN})$	$q_{bu}(\text{kN/本})$	$Q_u(\text{kN})(N=N_u)$
1	DB-200-9	M30	2	2187	279	129	1093
2	DB-200-12	M36	2	2187	406	189	1093
3	DB-250-9A	M27	4	3300	456	106	1650
4	DB-250-12A	M30	4	3615	558	129	1807
5	DB-250-16A	M33	4	3615	687	161	1807
6	DB-300-12A	M33	4	4463	687	161	2231
7	DB-300-16A	M36	4	4643	812	189	2321
8	DB-300-19A	M39	4	4827	968	225	2413
9	DB-350-12A	M36	4	5598	812	189	2799
10	DB-350-16A	M39	4	5799	968	225	2900
11	DB-350-19A	M42	4	6214	1109	259	3107
12	DB-350-22A	M45	4	6642	1178	303	3321
13	DB-400-16A	M36	6	6642	1218	189	3321
14	DB-400-19A	M39	6	6862	1452	225	3431
15	DB-400-22A	M42	6	7311	1664	259	3656

表 3-23 均等配置柱脚の最大せん断耐力

No.	名称	ねじの呼び	n_1	n_2	$N_u(\text{kN})$	$T_{u1}(\text{kN})$	$T_{u2}(\text{kN})$	$q_{bu}(\text{kN/本})$	$Q_u(\text{kN})(N=N_u)$
16	DB-250-9B	M27	3	2	3300	342	228	106	1650
17	DB-250-12B	M30	3	2	3615	419	279	129	1807
18	DB-250-16B	M33	3	2	3615	515	344	161	1807
19	DB-300-12B	M33	3	2	4463	515	344	161	2231
20	DB-300-16B	M36	3	2	4643	609	406	189	2321
21	DB-300-19B	M39	3	2	4827	726	484	225	2413
22	DB-350-12B	M36	3	2	5598	609	406	189	2799
23	DB-350-16B	M39	3	2	5799	726	484	225	2900
24	DB-350-19B	M42	3	2	6214	832	555	259	3107
25	DB-350-22B	M45	3	2	6642	884	589	303	3321
26	DB-400-16B	M36	4	2	6642	812	406	189	3321
27	DB-400-19B	M39	4	2	6862	968	484	225	3431
28	DB-400-22B	M42	4	2	7311	1109	555	259	3656

3-10. アンカーボルトの定着

アンカーボルトの定着の検討は、通常、基礎梁を含むコンクリート部分に対して行うが、標準柱脚ではどのような基礎梁が取りつくかを想定できないため、基礎梁を無視した基礎柱部分だけを対象に、「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針」による掻き出し破壊の検討に準拠して行う。

靱性保証設計指針では、柱に定着される梁主筋の定着耐力を下式で算定する。

$$T = k_n \cdot (T_c + T_w)$$

$$T_c = 2 \cdot l_{dh} \cdot b_e \frac{\sqrt{l_{dh}^2 + j^2}}{j} \sqrt{\sigma_B}$$

$$T_w = 0.7 \cdot A_w \cdot \sigma_{wy}$$

ここで、

k_n : 柱軸圧縮応力度の効果係数

l_{dh} : 梁主筋の定着深さ

b_e : 柱有効幅

j : 梁主筋の応力中心間距離

σ_B : コンクリート設計基準強度(kg/cm²)

A_w : 梁定着筋列より柱上下方向にそれぞれ l_{dh} の範囲、および柱有効幅の範囲に配された横補強筋の全断面積(cm²)

σ_{wy} : 横補強筋の降伏強度(kg/cm²)

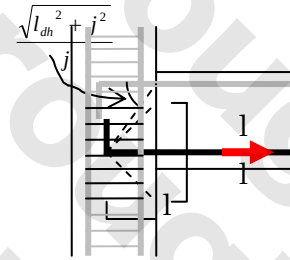


図 3-16 柱梁接合部における梁主筋の定着

基礎柱に定着されるアンカーボルトの場合、 $k_n=1$ 、 $2 \cdot l_{dh} \cdot b_e$ を基礎柱の断面積、横補強筋を基礎柱の立上り鉄筋と読み替え、アンカーボルトの有効長さか基礎柱幅より大

きいことから、基礎柱内の立上り筋全数が有効とする。また、 $\frac{\sqrt{l_{dh}^2 + j^2}}{j}$ は定着筋の力がストラットを介して圧縮域に直接伝達される効果であるので、ここでは安全側に 1 とする。さらに、各種合成構造設計指針に従い低減係数 ϕ_I を考慮し、SI 単位系にすると次ページの式となる。

以上より、引張側アンカーボルトの定着は下式で検討する。

$$T_u < \phi_I \cdot (T_c + T_w)$$

$$T_c = 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_f$$

$$T_w = 0.7 \cdot n_r \cdot a_{r,r} \sigma_y$$

(3-31)

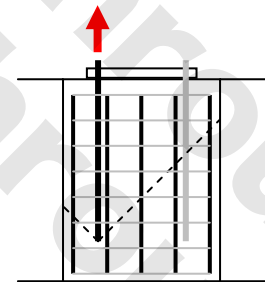


図 3-17 基礎柱内におけるアンカーボルトの定着

ここで、

T_u : 引張側アンカーボルトの短期引張耐力、全塑性引張耐力
(均等配置 8 本タイプの場合、中間のアンカーボルトを含む)

ϕ_1 : 低減係数 (短期 0.6、終局 0.8)

F_c : コンクリート設計基準強度 (=21N/mm²)

A_f : 基礎柱の断面積 (= B_f^2)

B_f : 基礎柱の幅

n_r : 立上り筋の本数

a_r : 立上り筋 1 本の断面積

$r\sigma_y$: 立上り筋の降伏強度 (D19 以上=345N/mm²、D16 以下=295N/mm²)

アンカーボルトの全塑性引張耐力は短期引張耐力×(0.8/0.6)より小さいので、短期について検討すればよい。下表に短期の検討結果を示す。計算外の規定として、立上り鉄筋をアンカーボルトの断面積の 1/2 以上配筋している。

表 3-24 アンカーボルトの定着の検討

No.	名称	B_f	$A_c(\text{mm}^2)$	$T_c(\text{kN})$	n_r	鉄筋径	$a_r(\text{mm}^2)$	$T_r(\text{kN})$	$0.6(T_c+T_r)$	$T_u(\text{kN})$	判定
1	DB-200-9	500	250000	355	8	D16	199	328	410	279	OK
2	DB-200-12	500	250000	355	8	D19	287	554	545	406	OK
3	DB-250-9A	630	396900	564	12	D16	199	492	634	456	OK
4	DB-250-12A	650	422500	600	12	D16	199	492	655	558	OK
5	DB-250-16A	650	422500	600	12	D19	287	830	858	687	OK
6	DB-300-12A	700	490000	696	12	D19	287	830	916	687	OK
7	DB-300-16A	710	504100	716	12	D19	287	830	928	812	OK
8	DB-300-19A	720	518400	736	12	D22	387	1122	1115	968	OK
9	DB-350-12A	760	577600	821	12	D19	287	830	990	812	OK
10	DB-350-16A	770	592900	842	12	D22	387	1122	1178	968	OK
11	DB-350-19A	790	624100	887	12	D25	507	1468	1413	1109	OK
12	DB-350-22A	810	656100	932	12	D25	507	1468	1440	1178	OK
13	DB-400-16A	810	656100	932	16	D22	387	1496	1457	1218	OK
14	DB-400-19A	820	672400	955	16	D22	387	1496	1471	1452	OK
15	DB-400-22A	840	705600	1002	16	D25	507	1958	1776	1664	OK
16	DB-250-9B	630	396900	564	12	D16	199	492	634	570	OK
17	DB-250-12B	650	422500	600	12	D19	287	830	858	698	OK
18	DB-250-16B	650	422500	600	12	D22	387	1122	1033	859	OK
19	DB-300-12B	700	490000	696	12	D19	287	830	916	859	OK
20	DB-300-16B	710	504100	716	12	D22	387	1122	1103	1015	OK
21	DB-300-19B	720	518400	736	12	D25	507	1468	1323	1210	OK
22	DB-350-12B	760	577600	821	12	D22	387	1122	1165	1015	OK
23	DB-350-16B	770	592900	842	12	D25	507	1468	1386	1210	OK
24	DB-350-19B	790	624100	887	12	D25	507	1468	1413	1387	OK
25	DB-350-22B	810	656100	932	16	D25	507	1958	1734	1473	OK
26	DB-400-16B	810	656100	932	16	D22	387	1496	1457	1218	OK
27	DB-400-19B	820	672400	955	16	D22	387	1496	1471	1452	OK
28	DB-400-22B	840	705600	1002	16	D25	507	1958	1776	1664	OK

なお、全てのアンカーボルトが引張状態となる場合は、上第 1 式の左辺を $2T_u$ として、基礎梁を考慮したコンクリート部分に対して個別に検討する必要がある。

3-11. ベースプレートの検討

(1) 圧縮側の検討

図 3-18 のように、ベースプレート下面にコンクリートの最大圧縮応力度が等分布に作用する状態で、柱面から外側に突出した片持梁とみなして検討し、コンクリートより先にベースプレートが降伏しないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_p} < F_b$$

$$M_{max} = \frac{0.85F_c \cdot (e+c)^2}{2} \quad (3-32)$$

$$Z_p = \frac{t_b^2}{4}$$

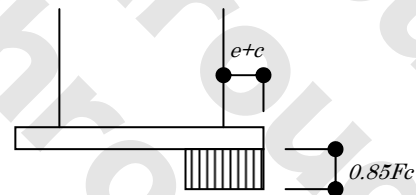


図 3-18 圧縮側ベースプレートの検討状態

ここで、

F_c : コンクリートの設計基準強度 (=21N/mm²)

e : アンカーボルトの端あき

c : 柱面とアンカーボルト芯間距離

t_b : ベースプレートの板厚

F_b : ベースプレートの許容耐力 (=1.5F/1.3)

F : ベースプレートの F 値 (325N/mm²、40mm を超える場合 295N/mm²)

表 3-25 圧縮側ベースプレートの検討

No.	名称	e	c	$M_{max}(Nmm)$	t_b	$Z_b(mm^3)$	$\sigma_b(N/mm^2)$	$F_b(N/mm^2)$	判定
1	DB-200-9	50	25	50203	32	256	196.1	375.0	OK
2	DB-200-12	50	25	50203	36	324	154.9	375.0	OK
3	DB-250-9A	45	45	72293	32	256	282.4	375.0	OK
4	DB-250-12A	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
5	DB-250-16A	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
6	DB-300-12A	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
7	DB-300-16A	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
8	DB-300-19A	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
9	DB-350-12A	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
10	DB-350-16A	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
11	DB-350-19A	60	60	128520	45	506.25	253.9	340.4	OK
12	DB-350-22A	65	65	150833	45	506.25	297.9	340.4	OK
13	DB-400-16A	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
14	DB-400-19A	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
15	DB-400-22A	60	60	128520	45	506.25	253.9	340.4	OK
16	DB-250-9B	45	45	72293	32	256	282.4	375.0	OK
17	DB-250-12B	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
18	DB-250-16B	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
19	DB-300-12B	50	50	89250	36	324	275.5	375.0	OK
20	DB-300-16B	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
21	DB-300-19B	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
22	DB-350-12B	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
23	DB-350-16B	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
24	DB-350-19B	60	60	128520	45	506.25	253.9	340.4	OK
25	DB-350-22B	65	65	150833	45	506.25	297.9	340.4	OK
26	DB-400-16B	50	55	98398	36	324	303.7	375.0	OK
27	DB-400-19B	55	55	107993	40	400	270.0	375.0	OK
28	DB-400-22B	60	60	128520	45	506.25	253.9	340.4	OK

(2) 引張側の検討

① コーナー配置（共通を含む）

コーナー配置（共通を含む）柱脚の場合、図 3-19 のように、角部のアンカーボルトが全塑性引張軸力で引っ張られる状態で、柱アール部から 45 度方向に突き出した片持梁とみなして検討し、アンカーボルトより先にベースプレートが降伏しないことを確認する。

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{M_{max}}{Z_p} < F_b \\ M_{max} &= \sum T_u \cdot u \\ Z_p &= \frac{B_e \cdot t_b^2}{4}\end{aligned} \quad (3-33)$$

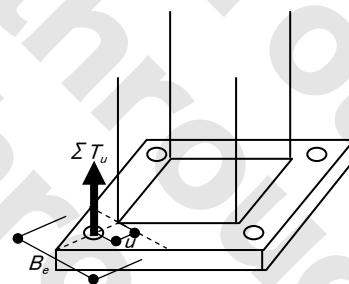


図 3-19 引張側ベースプレートの検討状態

ここで、

ΣT_u : 角部のアンカーボルト群全塑性引張耐力

u : アンカーボルト群の重心位置から柱アール部までの距離

B_e : ベースプレートの曲げ協力幅

4 本タイプ

$$u = \sqrt{2}(R_c + c) - R_c \quad B_e = 2(\sqrt{2}(e + c + R_c) - R_c) \quad (3-34)$$

8 本（隅切）タイプ

$$u = \sqrt{2}(R_c + c - q/2) - R_c \quad B_e = 2(\sqrt{2}(e + c + R_c) - R_c) \quad (3-35)$$

12 本（隅 3 本）タイプ

$$u = \sqrt{2}(R_c + c - q/3) - R_c \quad B_e = 2(\sqrt{2}(e + c + R_c) - R_c) \quad (3-36)$$

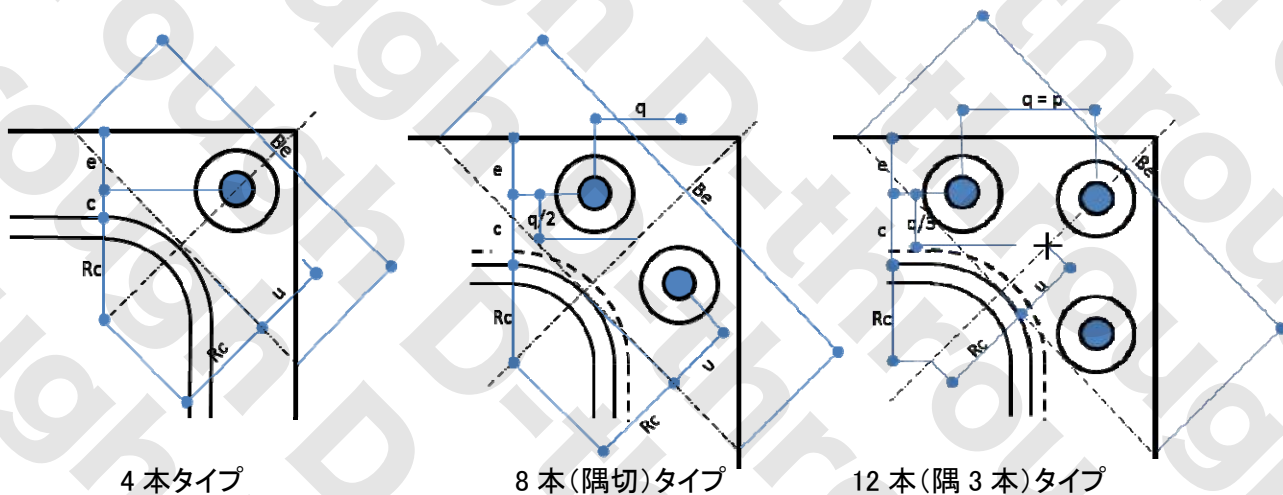


図 3-20 片持距離 u と協力幅 B_e

表 3-26 コーナー配置タイプの引張側ベースプレートの検討

No.	名称	R _c	e	c	q	x	ΣT _u (kN)	M _{max} (Nmm)	Be	tb	Z _p (mm ³)	σ _b (N/mm ²)	F _b (N/mm ²)	判定
1	DB-200-9	22.5	50	25	0	44.7	140	6236203	230.8	32	59078	105.6	375.0	OK
2	DB-200-12	30.0	50	25	0	47.8	203	9701606	237.0	36	76783	126.4	375.0	OK
3	DB-250-9	22.5	45	45	55	34.1	228	7765924	273.2	32	69939	111.0	375.0	OK
4	DB-250-12	30.0	50	50	55	44.2	279	12352657	307.7	36	99693	123.9	375.0	OK
5	DB-250-16	40.0	50	50	60	44.9	344	15410081	316.0	36	102377	150.5	375.0	OK
6	DB-300-12	30.0	50	50	60	40.7	344	13986968	307.7	36	99693	140.3	375.0	OK
7	DB-300-16	40.0	50	55	65	48.4	406	19649540	330.1	36	106960	183.7	375.0	OK
8	DB-300-19	47.5	55	55	70	48.0	484	23217153	350.5	40	140191	165.6	375.0	OK
9	DB-350-12	30.0	50	55	65	44.2	406	17967502	321.8	36	104275	172.3	375.0	OK
10	DB-350-16	40.0	55	55	70	44.9	484	21713247	344.3	40	137706	157.7	375.0	OK
11	DB-350-19	47.5	60	60	75	51.5	555	28559099	378.8	45	191748	148.9	340.4	OK
12	DB-350-22	55.0	65	65	80	58.1	589	34248557	413.3	45	209212	163.7	340.4	OK
13	DB-400-16	40.0	50	55	90	51.9	609	31627875	330.1	36	106960	295.7	375.0	OK
14	DB-400-19	47.5	55	55	100	50.3	726	36537282	350.5	40	140191	260.6	375.0	OK
15	DB-400-22	55.0	60	60	105	58.1	832	48364241	385.0	45	194893	248.2	340.4	OK

②均等配置

均等配置柱脚の場合、図 3-21 のように、アンカーボルト芯から柱面に向かって 45 度の影響範囲を曲げ協力幅とし、アンカーボルトより先にベースプレートが降伏しないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z_p} < F_b$$

$$M_{max} = p_{bp} \cdot c \quad (3-37)$$

$$Z_p = \frac{B_e \cdot t_b^2}{4}$$

ここで、

p_{bp} : アンカーボルト 1 本の全塑性引張耐力

c : 柱面からアンカーボルト芯までの距離

d_b : アンカーボルトの径 (ねじの呼び)

B_e : ベースプレートの曲げ協力幅

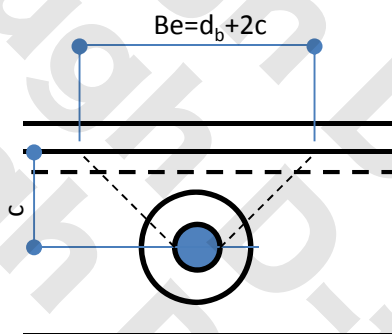
図 3-21 均等配置柱脚の協力幅 B_e 。

表 3-27 均等配置タイプの引張側ベースプレートの検討

No.	名称	db	c	p _{bp} (kN)	M _{max} (Nmm)	Be	tb	Z _p (mm ³)	σ _b (N/mm ²)	F _b (N/mm ²)	判定
16	DB-250-9B	27	45	114	5128875	117.0	32	29952	171.2	375.0	OK
17	DB-250-12B	30	50	140	6979500	130.0	36	42120	165.7	375.0	OK
18	DB-250-16B	33	50	172	8589250	133.0	36	43092	199.3	375.0	OK
19	DB-300-12B	33	50	172	8589250	133.0	36	43092	199.3	375.0	OK
20	DB-300-16B	36	55	203	11167200	146.0	36	47304	236.1	375.0	OK
21	DB-300-19B	39	55	242	13312750	149.0	40	59600	223.4	375.0	OK
22	DB-350-12B	36	55	203	11167200	146.0	36	47304	236.1	375.0	OK
23	DB-350-16B	39	55	242	13312750	149.0	40	59600	223.4	375.0	OK
24	DB-350-19B	42	60	277	16638000	162.0	45	82013	202.9	340.4	OK
25	DB-350-22B	45	65	295	19145750	175.0	45	88594	216.1	340.4	OK
26	DB-400-16B	36	55	203	11167200	146.0	36	47304	236.1	375.0	OK
27	DB-400-19B	39	55	242	13312750	149.0	40	59600	223.4	375.0	OK
28	DB-400-22B	42	60	277	16638000	162.0	45	82013	202.9	340.4	OK

3-12. 基礎柱の破壊防止の検討

柱脚に立上りがある場合（ただし、立上り高さが 50mm 以下は無視できる）および柱脚が建物外周にある場合、基礎柱に下図のような脆性破壊を防止する必要がある。

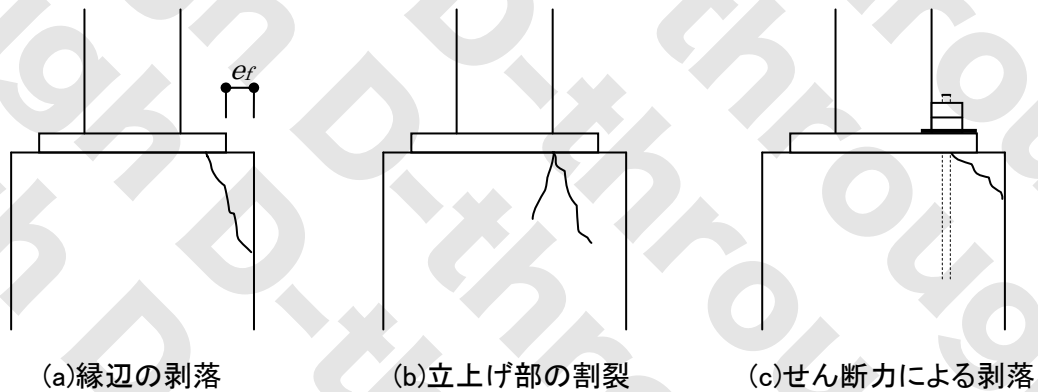


図 3-22 基礎柱の脆性破壊

(1) 圧縮力に対する検討

図 3-22 の(a)および(b)はベースプレート下面のコンクリートに圧縮力が集中することによって発生する破壊である。「鉄骨柱脚の耐震設計」によれば、検討用の圧縮力 (C_Y) は下式で算定する。

$$C_Y = N + T_u \quad (3-38)$$

ここで、

N : 柱に作用する圧縮力

T_u : 引張側アンカーボルトの全塑性引張耐力

「鉄骨柱脚の耐震設計」によれば、(a)の破壊を防止するには、基礎柱の縁辺距離 (x) の 2 倍の範囲がコンクリートの許容圧縮応力度以下にする必要がある。

$$\frac{C_Y}{2x \cdot B_f} < F_c \quad (3-39)$$

ここで、

B_f : 基礎柱の奥行

F_c : コンクリートの設計基準強度 ($=21\text{N/mm}^2$)

また、(b)の破壊を防止するには、ベースプレートの下面の実際にコンクリートを加圧している部分がコンクリートの局部圧縮強度以下にする必要がある。

$$\frac{C_v}{A_c} < \sigma_m \quad (3-40)$$

ここで、

σ_m : コンクリートの局部圧縮強度

$$\sigma_m = F_c \sqrt{\frac{A_r}{A_c}}, \quad \leq 12F_c \quad (3-41)$$

A_r : 圧縮に有効な断面積

A_c : 加圧部の面積

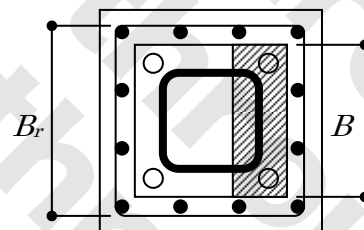


図 3-23 加圧部の面積

文献 1)によれば、圧縮に有効な断面積 (A_r) および加圧部の面積 (A_c) は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} A_r &= B_r^2 \\ A_c &= \min\left(\frac{1}{3}B^2, \frac{1}{3}B_r^2\right) \end{aligned} \quad (3-42)$$

ここで、

B_r : 鉄筋で拘束された断面の一辺の長さ

B : ベースプレートの奥行き

鉄筋で拘束された断面は、基礎柱の鉄筋のかぶり厚を 70mm として計算する。

以上の条件より、柱の作用軸力の限界値 (N_{cr}) を求めれば下式となる。

$$\begin{aligned} N_{cr} &= \min(2x \cdot B_f \cdot F_c, A_c \cdot \sigma_m) - T_u \\ \sigma_m &= \min\left(12, \sqrt{\frac{A_r}{A_c}}\right) \cdot F_c \end{aligned} \quad (3-43)$$

崩壊メカニズム時の軸力 (ルート 1-2 またはルート 2 の場合は短期軸力を γ 倍した値) が N_{cr} を超える場合は、基礎柱サイズを大きくするなど個別の対応を行う必要がある。

参考文献

1) 秋山宏, 和国信之, 西村功: 露出柱脚の強度と変形, 昭和 57 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.225~228

下表に標準柱脚の限界軸力を示す。

表 3-28 柱の作用軸力の限界値

No.	名称	ねじの 呼び	B _f	B	B _r	x	A _e (mm ²)	A _c (mm ²)	σ _m (N/mm ²)	2xB _f F _c (kN)	A _c σ _m (kN)	T _u (kN)	N _{cr} (kN)
1	DB-200-9	M30	500	350	360	75	129600	40833	37	1575	1528	279	1248
2	DB-200-12	M36	500	350	360	75	129600	40833	37	1575	1528	406	1122
3	DB-250-9A	M27	630	430	490	100	240100	61633	41	2646	2555	456	2099
4	DB-250-12A	M30	650	450	510	100	260100	67500	41	2730	2783	558	2172
5	DB-250-16A	M33	650	450	510	100	260100	67500	41	2730	2783	687	2043
6	DB-300-12A	M33	700	500	560	100	313600	83333	41	2940	3395	687	2253
7	DB-300-16A	M36	710	510	570	100	324900	86700	41	2982	3525	812	2170
8	DB-300-19A	M39	720	520	580	100	336400	90133	41	3024	3657	968	2056
9	DB-350-12A	M36	760	560	620	100	384400	104533	40	3192	4210	812	2380
10	DB-350-16A	M39	770	570	630	100	396900	108300	40	3234	4354	968	2266
11	DB-350-19A	M42	790	590	650	100	422500	116033	40	3318	4650	1109	2209
12	DB-350-22A	M45	810	610	670	100	448900	124033	40	3402	4955	1178	2224
13	DB-400-16A	M36	810	610	670	100	448900	124033	40	3402	4955	1218	2184
14	DB-400-19A	M39	820	620	680	100	462400	128133	40	3444	5112	1452	1992
15	DB-400-22A	M42	840	640	700	100	490000	136533	40	3528	5432	1664	1864
16	DB-250-9B	M27	630	430	490	100	240100	61633	41	2646	2555	570	1985
17	DB-250-12B	M30	650	450	510	100	260100	67500	41	2730	2783	698	2032
18	DB-250-16B	M33	650	450	510	100	260100	67500	41	2730	2783	859	1871
19	DB-300-12B	M33	700	500	560	100	313600	83333	41	2940	3395	859	2081
20	DB-300-16B	M36	710	510	570	100	324900	86700	41	2982	3525	1015	1967
21	DB-300-19B	M39	720	520	580	100	336400	90133	41	3024	3657	1210	1814
22	DB-350-12B	M36	760	560	620	100	384400	104533	40	3192	4210	1015	2177
23	DB-350-16B	M39	770	570	630	100	396900	108300	40	3234	4354	1210	2024
24	DB-350-19B	M42	790	590	650	100	422500	116033	40	3318	4650	1387	1932
25	DB-350-22B	M45	810	610	670	100	448900	124033	40	3402	4955	1473	1929
26	DB-400-16B	M36	810	610	670	100	448900	124033	40	3402	4955	1218	2184
27	DB-400-19B	M39	820	620	680	100	462400	128133	40	3444	5112	1452	1992
28	DB-400-22B	M42	840	640	700	100	490000	136533	40	3528	5432	1664	1864

(2) せん断力に対する検討

図 3-22 の(c)の破壊を防止するには、アンカーボルトに作用するせん断力が基礎柱の側面コンクリートのコーン状破壊耐力以下にする必要がある。従って、柱脚に作用する崩壊メカニズム時のせん断力 Q (ルート 1-2 またはルート 2 の場合は短期せん断力を γ 倍した値) が下式を満たすようにする。

$$Q \leq \max(Q_{fu}, Q_{cr}) \quad (3-44)$$

ここで、

Q_{fu} : ベースプレート底面の摩擦力 (3-9 参照)

Q_{cr} : 側面コンクリートのコーン状破壊耐力

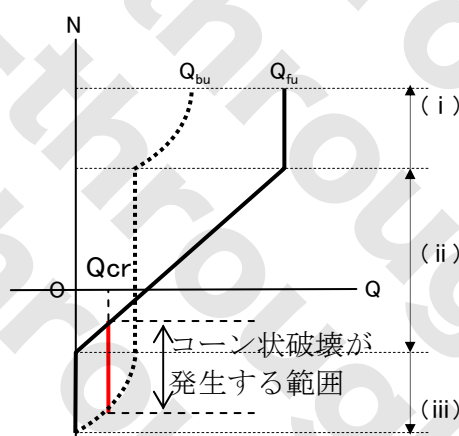


図 3-24 コーン状破壊が発生する範囲

コーン状破壊耐力は「3-10 アンカーボルトの定着」と同様に補強筋（帯筋）を考慮して下式で算定する。

$$Q_{cr} = \phi_1 \left(0.31 \sqrt{F_c} \cdot \sum A_c + 0.7 n_w \cdot a_w \cdot \sigma_y \right) \quad (3-45)$$

ここで、

ϕ_1 : 低減係数 (=0.6)

$\sum A_c$: コーン状破壊の有効投影面積

N_w : コーン状破壊面の範囲に配置された帯筋本数

a_w : 帯筋 1 本の断面積

σ_y : 帯筋の降伏強度 (=295N/mm²)

コーン状破壊の有効投影面積は、アンカーボルトの配置タイプに応じて次のように算定する。

$$4 \text{ 本タイプ} \quad \sum A_c = \pi \cdot z^2 \quad (3-46)$$

$$8 \text{ 本 (隅切り)} \quad \sum A_c = (z+q)^2 \cdot (\pi - \theta_1) \quad (3-47)$$

$$12 \text{ 本 (隅 3 本)} \quad \sum A_c = (z+q)^2 \cdot (\pi - \theta_1) \quad (3-48)$$

$$8 \text{ 本 (均等)} \quad \sum A_c = \frac{3}{2} \pi \cdot z^2 - 2z^2 \cdot \theta_2 + z \cdot q \cdot \sin \theta_2 \quad (3-49)$$

$$12 \text{ 本 (均等)} \quad \sum A_c = (z+q)^2 (\pi - \theta_1 - \theta_3) + (z+q)(z \cdot \sin \theta_1 + 1.5q \cdot \sin \theta_3) \quad (3-50)$$

ここで、

z : 基礎コンクリート面から外側のアンカーボルトまでに距離

$$\begin{aligned} \cos \theta_1 &= \frac{z}{z+q} \\ \cos \theta_2 &= \frac{z}{2z} \\ \cos \theta_3 &= \frac{1.5q}{z+q} \end{aligned} \quad (3-51)$$

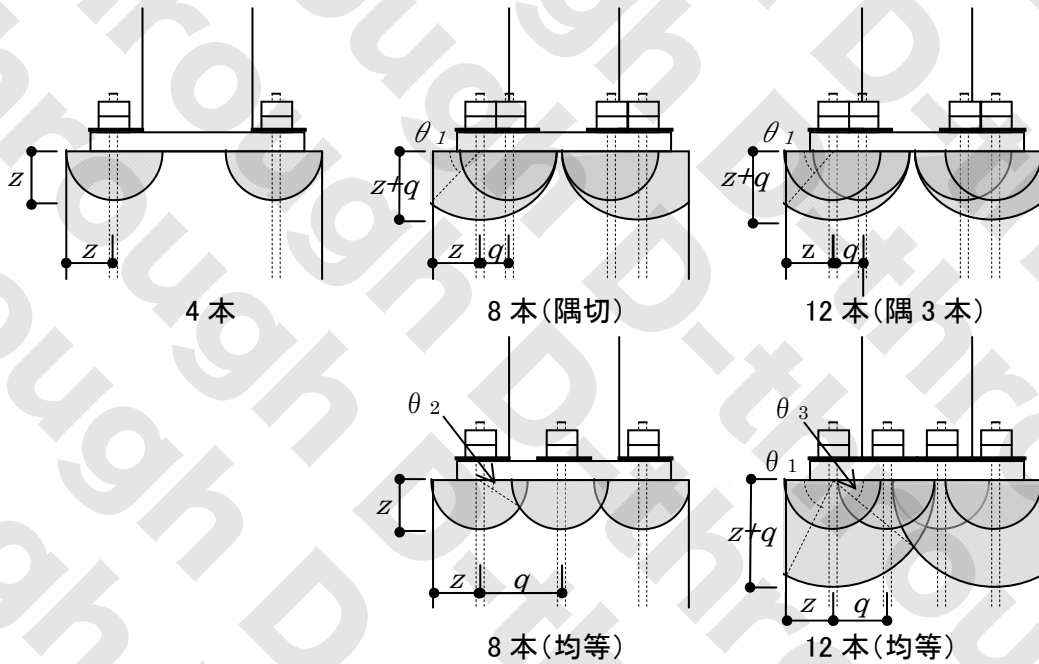


図 3-25 コーン状破壊の有効投影面積

下表に標準柱脚の側面コンクリートのコーン状破壊耐力示す。

表 3-29 側面コンクリートのコーン状破壊耐力

No.	名称	B _f	B	e	z	q	θ_1 (rad)	θ_2 (rad)	θ_3 (rad)	A _c (mm ²)	第1項	帯筋径	n _w (本)	a _r (mm ²)	第2項	Q _{cr} (kN)
1	DB-200-9	500	350	50	125	-	-	-	-	49087	70	D10	4	71.33	59	77
2	DB-200-12	500	350	50	125	-	-	-	-	49087	70	D10	4	71.33	59	77
3	DB-250-9A	630	430	45	145	55	0.760	-	-	95273	135	D10	6	71.33	88	134
4	DB-250-12A	650	450	50	150	55	0.750	-	-	100508	143	D10	6	71.33	88	139
5	DB-250-16A	650	450	50	150	60	0.775	-	-	104358	148	D10	6	71.33	88	142
6	DB-300-12A	700	500	50	150	60	0.775	-	-	104358	148	D10	6	71.33	88	142
7	DB-300-16A	710	510	50	150	65	0.799	-	-	108303	154	D10	6	71.33	88	145
8	DB-300-19A	720	520	55	155	70	0.811	-	-	117994	168	D13	6	126.7	157	195
9	DB-350-12A	760	560	50	150	65	0.799	-	-	108303	154	D13	6	126.7	157	187
10	DB-350-16A	770	570	55	155	70	0.811	-	-	117994	168	D13	6	126.7	157	195
11	DB-350-19A	790	590	60	160	75	0.822	-	-	128107	182	D13	6	126.7	157	203
12	DB-350-22A	810	610	65	165	80	0.832	-	-	138639	197	D13	6	126.7	157	212
13	DB-400-16A	810	610	50	150	90	0.896	-	-	129365	184	D13	6	126.7	157	204
14	DB-400-19A	820	620	55	155	100	0.917	-	-	144625	205	D13	6	126.7	157	217
15	DB-400-22A	840	640	60	160	105	0.923	-	-	155831	221	D13	6	126.7	157	227
16	DB-250-9B	630	430	45	145	170	-	0.944	-	79335	113	D10	4	71.33	59	103
17	DB-250-12B	650	450	50	150	175	-	0.948	-	84691	120	D10	4	71.33	59	108
18	DB-250-16B	650	450	50	150	175	-	0.948	-	84691	120	D10	4	71.33	59	108
19	DB-300-12B	700	500	50	150	200	-	0.841	-	90541	129	D10	4	71.33	59	113
20	DB-300-16B	710	510	50	150	205	-	0.818	-	91648	130	D13	4	126.7	105	141
21	DB-300-19B	720	520	55	155	205	-	0.848	-	96292	137	D13	4	126.7	105	145
22	DB-350-12B	760	560	50	150	230	-	0.697	-	96807	138	D13	4	126.7	105	145
23	DB-350-16B	770	570	55	155	230	-	0.735	-	101808	145	D13	4	126.7	105	150
24	DB-350-19B	790	590	60	160	235	-	0.746	-	107960	153	D13	4	126.7	105	155
25	DB-350-22B	810	610	65	165	240	-	0.756	-	114285	162	D13	4	126.7	105	160
26	DB-400-16B	810	610	50	150	170	1.083	-	0.649	236080	335	D13	8	126.7	209	327
27	DB-400-19B	820	620	55	155	170	1.074	-	0.669	243451	346	D13	8	126.7	209	333
28	DB-400-22B	840	640	60	160	173	1.070	-	0.676	256057	364	D13	8	126.7	209	344

3-13. 基礎柱の帯筋

せん断補強筋比を 0.2%以上とする。

表 3-30 基礎柱のせん断補強筋

No.	名称	B _f	帯筋	断面積	ピッチ	p _w (%)
1	DB-200-9	500	D10	71.33	100	0.285
2	DB-200-12	500	D10	71.33	100	0.285
3	DB-250-9A	630	D10	71.33	100	0.226
4	DB-250-12A	650	D10	71.33	100	0.219
5	DB-250-16A	650	D10	71.33	100	0.219
6	DB-300-12A	700	D10	71.33	100	0.204
7	DB-300-16A	710	D10	71.33	100	0.201
8	DB-300-19A	720	D13	126.7	100	0.352
9	DB-350-12A	760	D13	126.7	100	0.333
10	DB-350-16A	770	D13	126.7	100	0.329
11	DB-350-19A	790	D13	126.7	100	0.321
12	DB-350-22A	810	D13	126.7	100	0.313
13	DB-400-16A	810	D13	126.7	100	0.313
14	DB-400-19A	820	D13	126.7	100	0.309
15	DB-400-22A	840	D13	126.7	100	0.302
16	DB-250-9B	630	D10	71.33	100	0.226
17	DB-250-12B	650	D10	71.33	100	0.219
18	DB-250-16B	650	D10	71.33	100	0.219
19	DB-300-12B	700	D10	71.33	100	0.204
20	DB-300-16B	710	D13	126.7	100	0.357
21	DB-300-19B	720	D13	126.7	100	0.352
22	DB-350-12B	760	D13	126.7	100	0.333
23	DB-350-16B	770	D13	126.7	100	0.329
24	DB-350-19B	790	D13	126.7	100	0.321
25	DB-350-22B	810	D13	126.7	100	0.313
26	DB-400-16B	810	D13	126.7	100	0.313
27	DB-400-19B	820	D13	126.7	100	0.309
28	DB-400-22B	840	D13	126.7	100	0.302

3-14. 基礎柱の最小高さ

基礎柱の最小高さ (H_{min}) は、アンカーボルトの有効長さ (L_e) より下図のように算定し、50mm 単位で切り上げる。

$$H_{min} \geq L_e + 2h_n + 3p_n + h_c - (t_z + t_b + t_m) \quad (3-52)$$

ここで、

h_n : ナット高さ

p_n : ネジピッチ

h_c : カップラー高さ

t_z : 座金厚さ

t_b : ベースプレート厚さ

t_m : モルタル厚さ

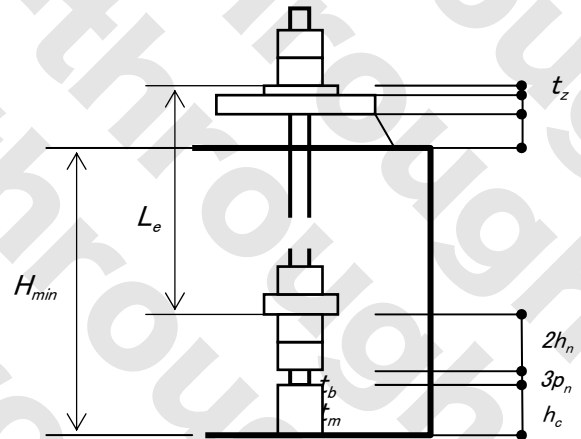


図 3-26 アンカーボルト長さと基礎柱の最小高さ

表 3-28 基礎柱の最小高さの検討

No.	名称	ボルト径	L_e	p_n	h_n	t_z	t_b	t_m	h_c	H_{min}	
1	DB-200-9	M30	613.5	3.5	24	8	32	50	113	695	→ 700
2	DB-200-12	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
3	DB-250-9A	M27	551.0	3.0	22	6	32	50	109	625	→ 650
4	DB-250-12A	M30	613.5	3.5	24	8	36	50	113	691	→ 700
5	DB-250-16A	M33	677.5	3.5	26	8	36	50	127	773	→ 800
6	DB-300-12A	M33	677.5	3.5	26	8	36	50	127	773	→ 800
7	DB-300-16A	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
8	DB-300-19A	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
9	DB-350-12A	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
10	DB-350-16A	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
11	DB-350-19A	M42	858.5	4.5	34	8	45	50	168	1005	→ 1050
12	DB-350-22A	M45	922.5	4.5	36	8	45	50	172	1077	→ 1100
13	DB-400-16A	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
14	DB-400-19A	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
15	DB-400-22A	M42	858.5	4.5	34	8	45	50	168	1005	→ 1050
16	DB-250-9B	M27	551.0	3.0	22	6	32	50	109	625	→ 650
17	DB-250-12B	M30	613.5	3.5	24	8	36	50	113	691	→ 700
18	DB-250-16B	M33	677.5	3.5	26	8	36	50	127	773	→ 800
19	DB-300-12B	M33	677.5	3.5	26	8	36	50	127	773	→ 800
20	DB-300-16B	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
21	DB-300-19B	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
22	DB-350-12B	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
23	DB-350-16B	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
24	DB-350-19B	M42	858.5	4.5	34	8	45	50	168	1005	→ 1050
25	DB-350-22B	M45	922.5	4.5	36	8	45	50	172	1077	→ 1100
26	DB-400-16B	M36	736.0	4.0	29	8	36	50	133	845	→ 850
27	DB-400-19B	M39	800.0	4.0	31	8	40	50	162	938	→ 950
28	DB-400-22B	M42	858.5	4.5	34	8	45	50	168	1005	→ 1050

4. 設計例

4-1. 3階建て事務所ビル

建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説 改訂版（日本鋼構造協会，2011）の設計例 1 である 3 階建て事務所ビルを D スルー標準柱脚を用いて設計する。

(1) 建物概要

階数：地上 3 階、地下なし、搭屋なし 建物高さ：10.5m

構造種別：鉄骨造

骨組形式：XY 方向ともラーメン構造

柱脚形式：露出柱脚

基礎形式：直接基礎（べた基礎）

外壁：ALC 縦張

床：2～R 階デッキプレート合成床、1 階 RC スラブ

図 4-1～4-3 に略伏図、略軸組図を示す。

(2) 設計方針

- ・ 鉄骨柱脚に D スルー標準柱脚を用いる。
- ・ 上部構造の安全性確認は、XY 方向とも保有水平耐力計算（ルート 3）により行う。
- ・ 許容応力度設計時には、層間変形角 $1/200$ 以下、剛性率 0.6 以上、偏心率 0.15 以下とする。
- ・ 層間変形角が $1/50$ に達するまで荷重増分解析を行い、崩壊形の確認を行う。また、保有水平耐力は層間変形角が $1/100$ に達した時点の耐力とする。

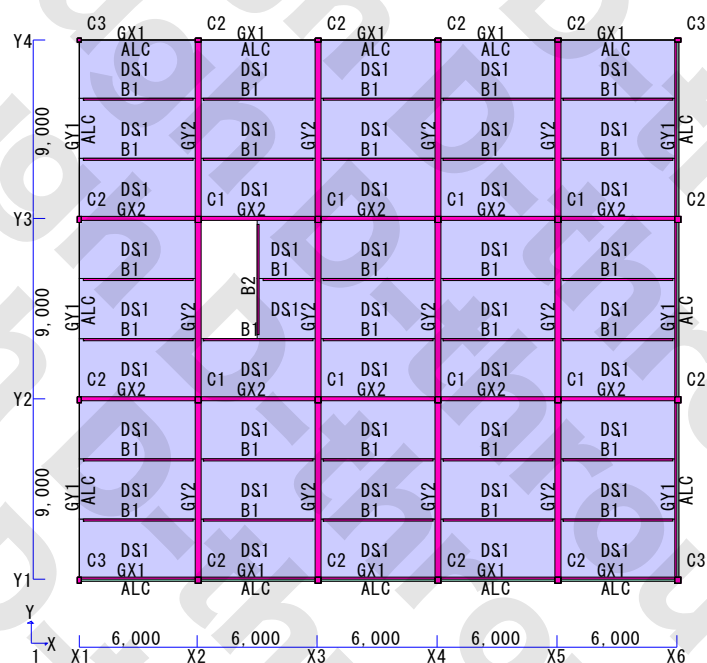


图 4-1 2 階略伏図

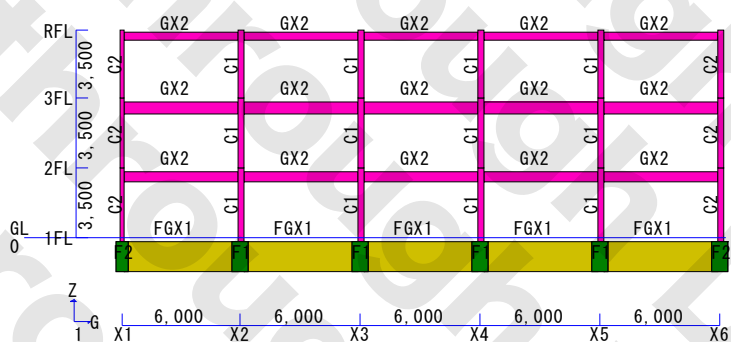


図 4-2 Y2 通略軸組図

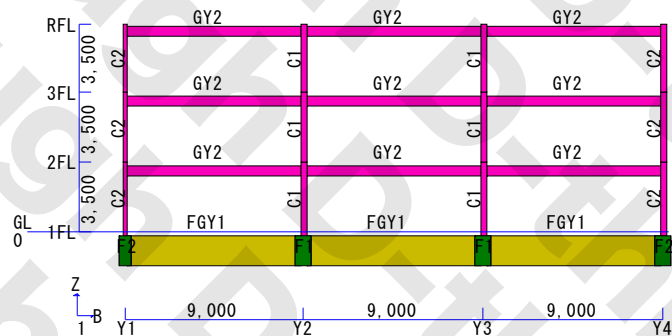


図 4-3 X2 通略軸組図

(3) 部材断面

主要な部材の断面を以下に示す。

「建築構造用アンカーボルトを用いた露出柱脚設計施工指針・同解説」の設計例 1
では、柱の鋼材種別を BCP325 としているが、ここでは BCR295 を用いる。

表 4-1 柱断面表 (BCR295)

階	C1(中柱)	C2(外柱)	C3(隅柱)
3	□-350x350x16	□-350x350x16	□-350x350x16
2	□-350x350x19	□-350x350x19	□-350x350x16
1	□-350x350x19	□-350x350x19	□-350x350x16

表 4-2 大梁断面表 (SN400B)

階	GX1	GX2	GY1	GY2
R	H-400x200x9x12	H-400x200x9x12	H-550x200x9x16	H-550x200x9x19
3	H-400x200x9x12	H-400x200x9x16	H-550x200x9x16	H-550x200x9x19
2	H-550x200x9x16	H-550x200x9x16	H-550x200x9x16	H-550x250x9x19

表 4-3 基礎梁断面表 (RC)

階	FGX1	FGY1
R	500x1500	500x1500

(4) 設計荷重

表 4-4 固定荷重・積載荷重 (N/m²)

部位	固定荷重			床・小梁	骨組	地震
屋根	押えコンクリート t=100 (γ=23)	2300	DL	6000	6000	6000
	アスファルト防水層	150				
	コンクリートスラブ t=135 (γ=24)	3240	LL	1800	1300	600
	天井・その他	300				
	5990 → 6000		TL	7800	7300	6600
事務室	フリーアクセスフロア	750	DL	5100	5100	5100
	間仕切り	800				
	コンクリートスラブ t=135 (γ=24)	3240	LL	2900	1800	800
	天井・その他	300				
	5090 → 5100		TL	8000	6900	5900

表 4-5 その他の荷重

パラペット h=600	2500N/m	柱仕上げ	400N/m ²
外壁(ALC 板)	1350N/m ²	梁仕上げ	150 N/m ²

表 4-6 地震荷重

階	階高 (m)	層重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)	総重量 (kN)	層せん断力 係数	層せん断力 (kN)
3	3.5	6574	8.00	6574	0.286	1877
2	3.5	5923	7.36	12497	0.235	2936
1	3.5	5972	7.42	18469	0.200	3694

(5) 柱脚の選定

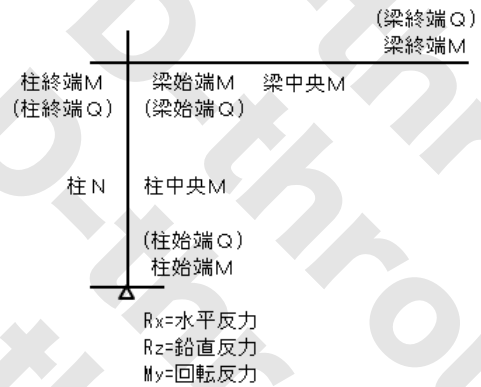
柱の断面より D スルー標準柱脚を選定する。

表 4-7 柱脚の選定

	C1・C2	C3
柱断面	□-350x350x19	□-350x350x16
D スルー標準柱脚	DB-350-19A	DB-350-16A
アンカーボルト	8-M42 (Le=892.5) ABR400	8-M39 (Le=831.0) ABR400
ベースプレート	590x590x45 SN490B	570x570x40 SN490B
回転剛性(kNm/rad)	78500	72100

(6) 応力解析結果

図 4-4～4-7 に柱脚の回転剛性を考慮した長期荷重時、地震時の応力図を示す。



応力図凡例

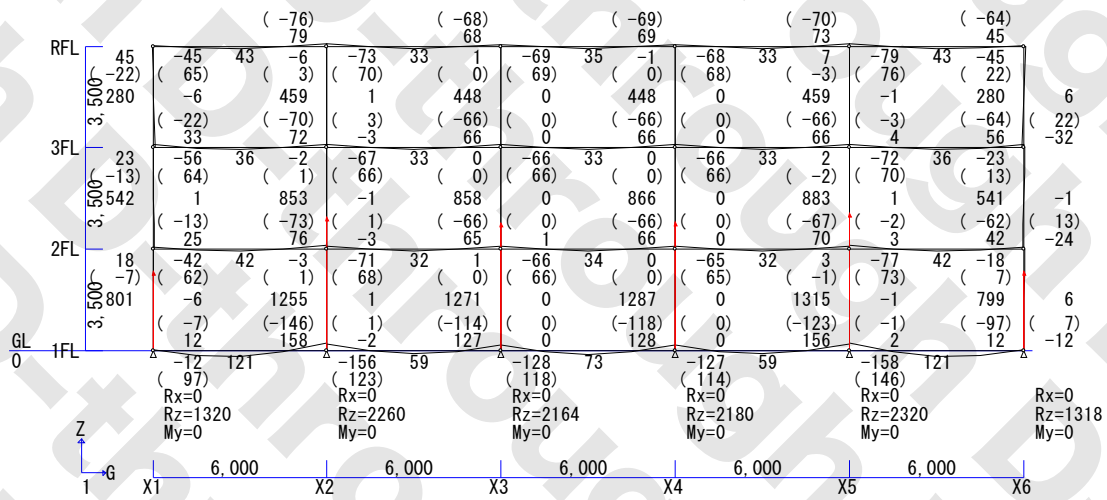


図 4-4 Y2 通 応力図 (長期荷重時)

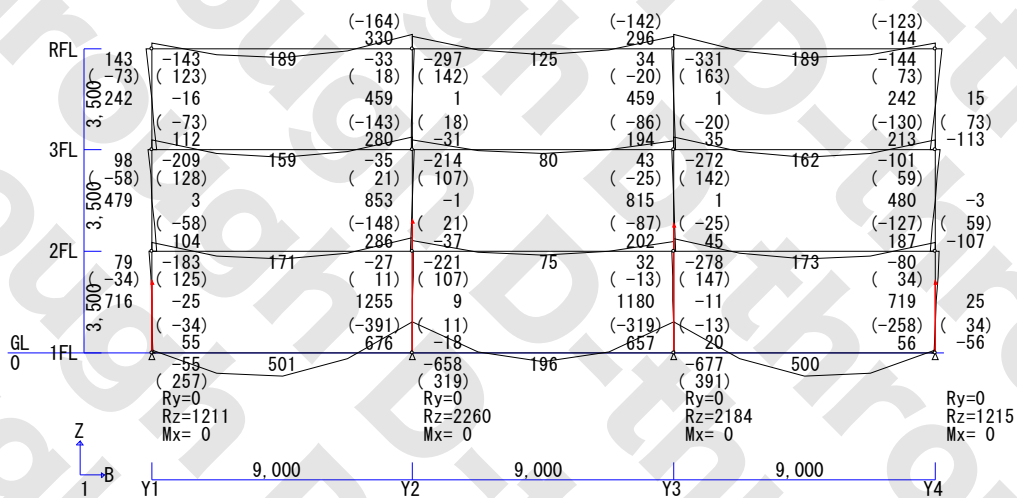


図 4-5 X2 通 応力図 (長期荷重時)

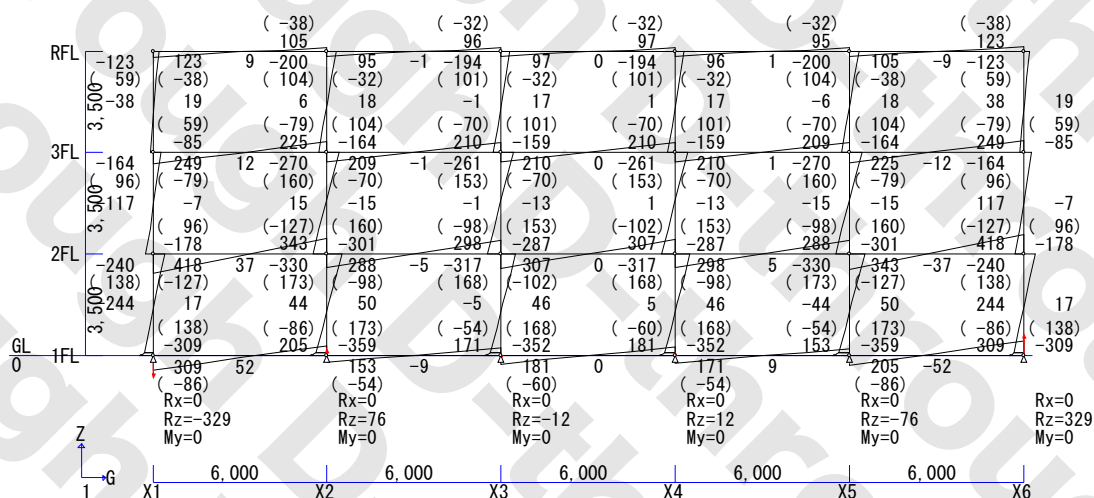


図 4-6 Y2 通 応力図 (X 方向地震時)

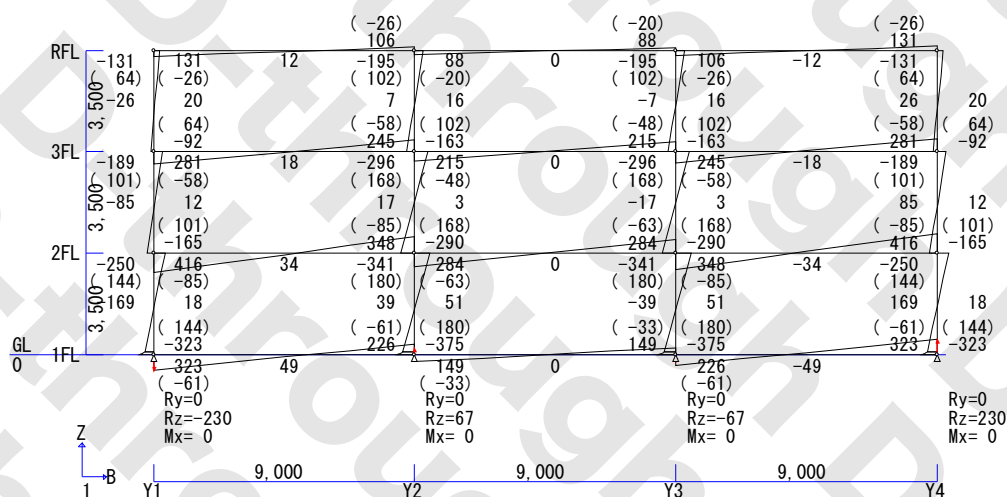


図 4-7 X2 通応力図 (Y 方向地震時)

表 4-8 に柱脚固定とした場合と回転剛性を考慮した場合の層間変形角を示す。なお、スラブによる梁の剛性増大率は、両側スラブの場合 2.0、片側スラブの場合 1.5 としている。

回転剛性を考慮した場合、1 階の層間変形角は柱脚固定時の 1.6 倍程度になっている。

表 4-8 層間変形角の比較

階	X 方向		Y 方向	
柱脚	固定	回転剛性	固定	回転剛性
3	1/358	1/357	1/452	1/450
2	1/291	1/283	1/320	1/307
1	1/436	1/278	1/409	1/261

Dスルー標準柱脚の耐力曲線に長期応力および短期応力をプロットし、許容耐力以下であることを確認する。

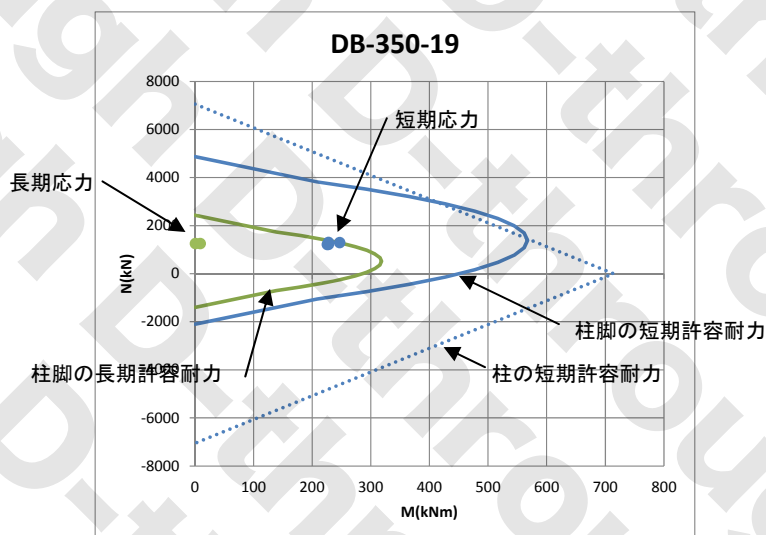


図 4-10 C1 柱脚の許容耐力曲線 (X2-Y2 の例)

X2-Y2 (Y 方向) の計算例

①短期許容曲げモーメントの検討

$$\begin{aligned}
 \text{短期軸力} & N_s = 1255 + 39 = 1294 \quad (\text{kN}) \\
 \text{短期曲げモーメント} & M_s = (18 + 375) - 191 \times 0.75 = 250 \quad (\text{kNm}) \\
 \text{短期許容支圧耐力} & N_b = \frac{2}{3} B \cdot D \cdot F_c \\
 & = \frac{2}{3} \times 590 \times 590 \times 21 \times 10^{-3} = 4873 \quad (\text{kN}) \\
 \text{短期許容引張耐力} & T_b = n_t \cdot A_e \cdot F = 4 \times 1120 \times 235 \times 10^{-3} = 1053 \quad (\text{kN}) \\
 \text{軸力の範囲} & N_b - T_b = 3820 \leq N = 1294 < -T_b = -1053
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{短期許容曲げ耐力} & M_{SA} = T_b \cdot d_t + \frac{(N + T_b) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_b}{N_b} \right) \\
 & = \left(1053 \times 198 + \frac{(1294 + 1053) \times 590}{2} \times \left(1 - \frac{1294 + 1053}{4873} \right) \right) \times 10^{-3} \\
 & = 567 \quad (\text{kNm})
 \end{aligned}$$

$$\text{検定比} \quad M_s / M_{SA} = 250 / 567 = 0.44 \quad \text{OK}$$

②短期許容せん断力の検討

$$\begin{aligned}
 \text{短期軸力} & N_s = 1255 + 39 = 1294 \quad (\text{kN}) \\
 \text{短期せん断力} & Q_s = 11 + 180 = 191 \quad (\text{kN}) \\
 & Q_s < 0.4 N_s = 517 \quad (\text{kN}) \text{より} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

(8) 保有水平耐力計算結果

図 4-11～4-12 に各階の層せん断力－層間変形角関係グラフを示す。最大層間変形角が 1/100 に達したステップを保有水平耐力とし、1/50 に達した時点で解析を終了している。

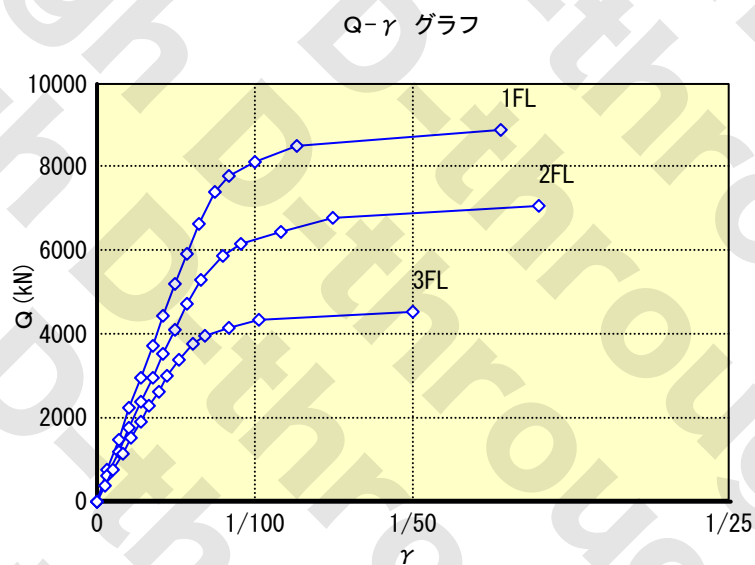


図 4-11 層せん断力－層間変形角関係（+X 方向地震時）

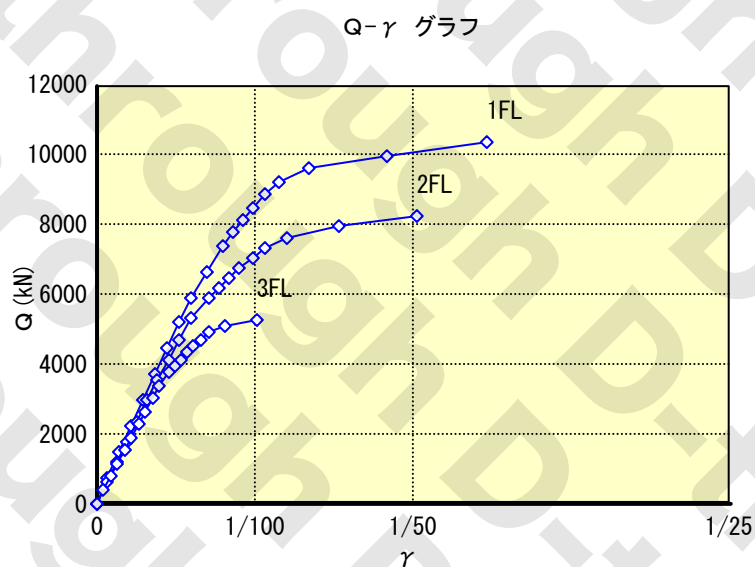


図 4-12 層せん断力－層間変形角関係（+Y 方向地震時）

図 4-13～4-14 に保有水平耐力時の応力図を示す。柱脚は未降伏で崩壊形到達前である。

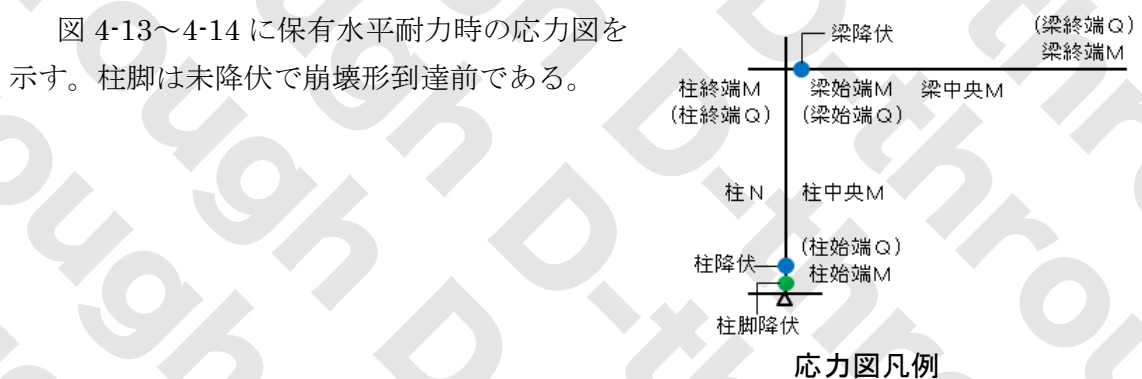


図 4-13 保有水平耐力時の Y2 通応力図 (+X 方向地震時)

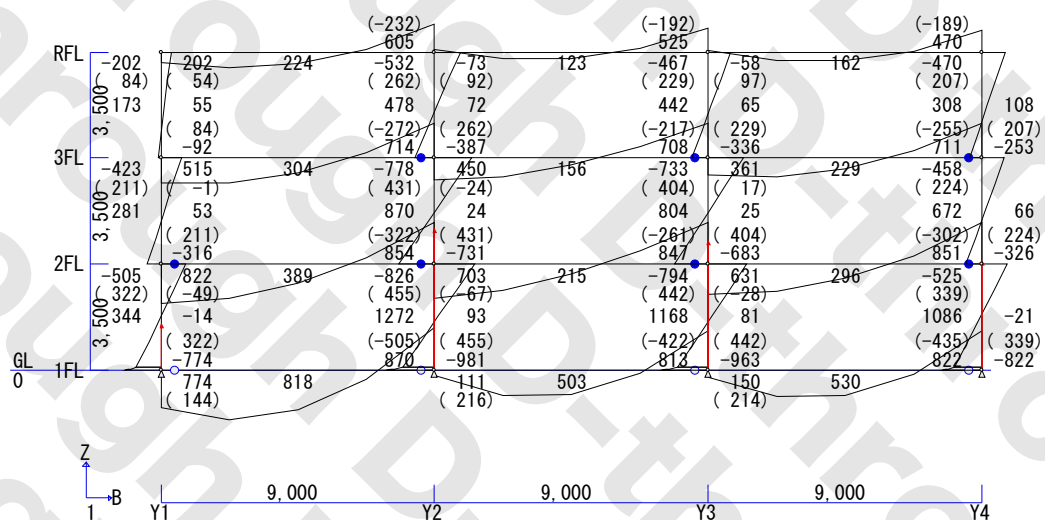


図 4-14 保有水平耐力時の X2 通応力図 (+Y 方向地震時)

Diagram illustrating the various end conditions for a beam-column joint:

- 梁終端Q (Beam End Q)
- 梁終端M (Beam End M)
- 梁中央M (Beam Center M)
- 梁降伏 (Beam Yield)
- 柱終端M (Column End M)
- 柱終端Q (Column End Q)
- 柱中央M (Column Center M)
- 柱降伏 (Column Yield)
- 柱腳降伏 (Column Foot Yield)

98

Dスルー標準柱脚の耐力曲線に解析終了時の応力をプロットし、終局せん断耐力以下であることを確認する。また、建物外周の柱については、限界軸力（Ncr）以下、限界せん断力（Qcr）以下であることを確認する。

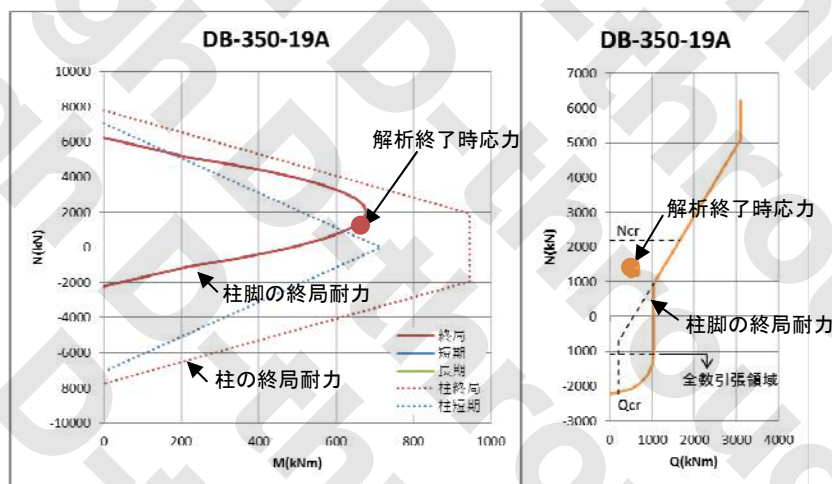


図 4-17 C1 柱脚の終局耐力曲線（X2-Y2 の例）

X2-Y2（Y 方向）の計算例

メカニズム時軸力

$$N=1257 \text{ (kN)}$$

メカニズム時せん断力

$$Q=524 \text{ (kN)}$$

メカニズム時曲げモーメント

$$M=1071-524 \times 0.75=678 \text{ (kNm)}$$

終局支圧耐力

$$N_u=0.85B \cdot D \cdot F_c$$

$$=0.85 \times 590 \times 590 \times 21 \times 10^{-3}=6214 \text{ (kN)}$$

終局引張耐力

$$T_u=n_t \cdot A_b \cdot F=4 \times 1180 \times 235 \times 10^{-3}=1109 \text{ (kN)}$$

軸力の範囲

$$N_u - T_u = 5015 \leq N = 1257 < -T_u = -1109$$

柱脚の終局曲げ耐力

$$M_u = T_u \cdot d_t + \frac{(N + T_u) \cdot D}{2} \cdot \left(1 - \frac{N + T_u}{N_u}\right)$$

$$= \left(1109 \times 198 + \frac{(1258 + 1109) \times 590}{2} \times \left(1 - \frac{1258 + 1109}{6214}\right)\right) \times 10^{-3}$$

$$= 652 \text{ (kNm)} \approx \text{メカニズム時曲げモーメント}$$

柱の終局曲げ耐力

$$cM_u = Z_p \cdot \sigma_y = 2910000 \times 1.1 \times 295 = 944 \text{ (kNm)}$$

柱脚と柱の耐力比

$$M_u / cM_u = 652 / 944 = 0.65$$

終局せん断耐力

$$Q_{fu} = 0.5(N + T_u) = 0.5 \times (1257 + 1109) = 1183 \text{ (kN)}$$

$$Q_{bu} = n_c \cdot q_{bu} = 4 \times 259 = 1036 \text{ (kN)}$$

$$Q_u = \max(Q_{fu}, Q_{bu}) = 1183 \text{ (kN)}$$

せん断検定比

$$Q / Q_u = 524 / 1183 = 0.44 \text{ OK}$$

表 4-9 に各階の保有水平耐力と必要保有水平耐力を示す。1 階は柱脚が降伏しているので D_s を 0.05 割増し 0.3 として必要保有水平耐力を計算し、 Q_u/Q_{un} が 1 以上であることを確認する。

表 4-9 保有水平耐力と必要保有水平耐力

方向	階	F_{es}	D_s	$Q_{ud}(kN)$	$Q_{un}(kN)$	$Q_u(kN)$	Q_u/Q_{un}	判定
+X	3	1.00	0.25	9385	2346	4130	1.76	OK
	2	1.00	0.25	4679	3670	6459	1.76	OK
	1	1.00	0.30	18469	5541	8126	1.47	OK
+Y	3	1.00	0.25	9385	2346	4505	1.92	OK
	2	1.00	0.25	4679	3670	7046	1.92	OK
	1	1.00	0.30	18469	5541	8865	1.60	OK

(9) 考察

以上、Dスルー標準柱脚を用いた 3 階建て事務所ビルの実設計例を示した。

Dスルー標準柱脚を用いることにより、柱脚の回転剛性を確保し、柱より先に伸び能力のあるアンカーボルトが引張降伏する靱性に優れた柱脚を容易に設計することが可能である。

4-2. ケーススタディ

1階～3階建ての4種類の建物について、Dスルー標準柱脚を用いた場合と埋め込み固定柱脚とした場合の層間変形角・保有水平耐力を比較し、Dスルー標準柱脚を設計する際の目安を示す。また、一次設計時の検定比や柱梁耐力比を検討し、Dスルー標準柱脚が埋め込み固定柱脚と同一の柱梁断面で設計可能であることを示す。

設計方針および設計荷重は「4-1 3階建て事務所ビル」と同じとする。

(1) 建物概要

【CASE-1】

1階建て、桁行 4.5m×3、はり間 4.5m×2

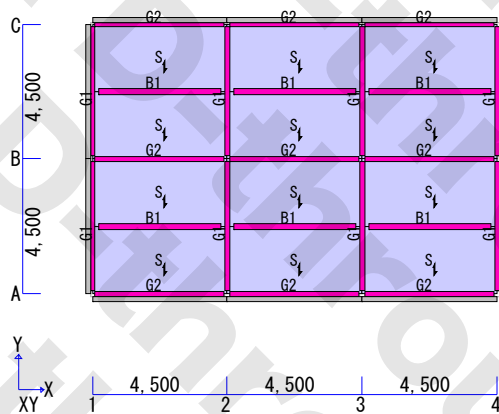


図 4-18 R 階略伏図

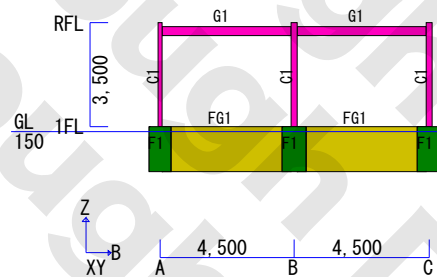


図 4-19 2 通路軸組図

表 4-10 断面リスト

階	C1	G1	G2
R	—	H-298x149x5.5x8	H-300x150x6.5x9
1	□-200x200x9	—	—

【CASE-2】2階建て、桁行 5.4m×3、はり間 7.2m×1

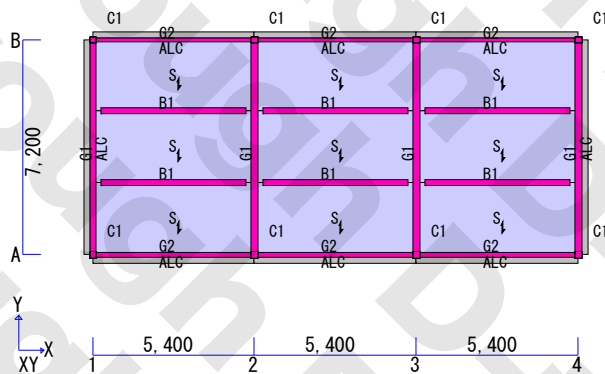


図 4-20 2階略伏図

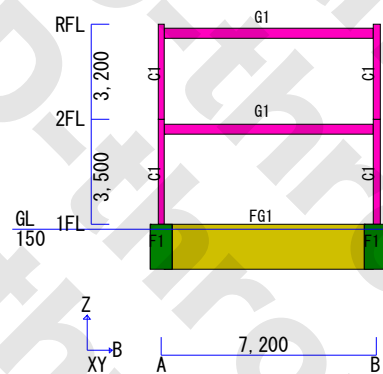


図 4-21 2 通路軸組図

表 4-11 断面リスト

階	C1	G1	G2
R	—	H-340x250x9x14	H-346x174x6x9
2	□-250x250x12	H-340x250x9x14	H-350x175x7x11
1	□-250x250x12	—	—

【CASE-4】3階建て、桁行 6.3m×3、はり間 8.1m×1

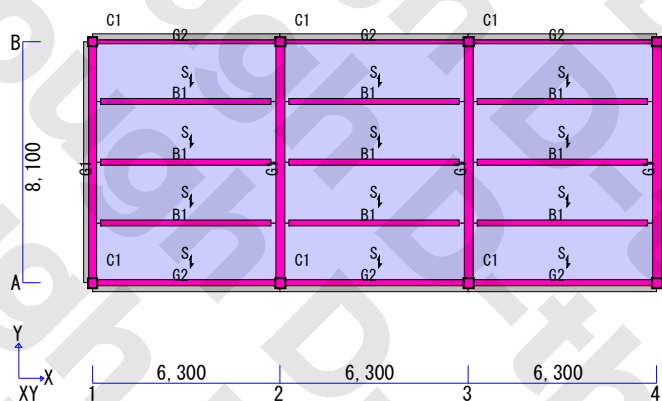


図 4-24 2 階略伏図

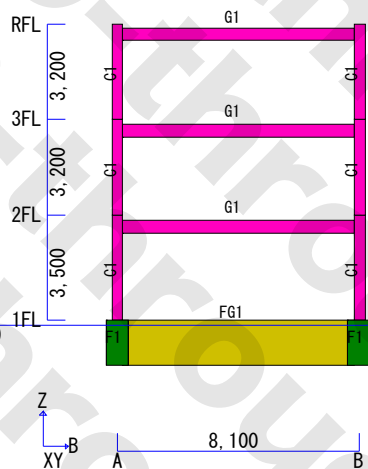


図 4-25 2 通略軸組図

表 4-13 断面リスト

階	C1	G1	G2
R	—	H-390x300x10x16	H-396x199x7x11
3	□-350x350x12	H-440x300x11x18	H-446x199x9x12
2	□-350x350x12	H-440x300x11x18	H-446x199x9x12
1	□-350x350x12	—	—

(2) 層間変形角

$C_o=0.2$ に対する各層の層間変形角を比較する。

1 階の層間変形角は、D スルー標準柱脚は埋め込み固定柱脚の約 1.5 倍に増加し、2 階以上の層間変形角にはほとんど影響しない。D スルー標準柱脚を用いる場合、柱脚固定時の層間変形角を 1/300 程度にしておくことが目安となる。

表 4-14 層間変形角の比較

CASE名	階	桁行方向			はり間方向		
		Dスルー標準柱脚	埋め込み固定柱脚	比率	Dスルー標準柱脚	埋め込み固定柱脚	比率
CASE-1	1	1/290	1/447	1.54	1/291	1/449	1.54
CASE-2	2	1/327	1/341	1.04	1/335	1/349	1.04
	1	1/233	1/332	1.42	1/231	1/328	1.42
CASE-3	3	1/402	1/403	1.00	1/427	1/428	1.00
	2	1/275	1/283	1.03	1/279	1/288	1.03
	1	1/228	1/336	1.47	1/228	1/336	1.47
CASE-4	3	1/448	1/452	1.01	1/502	1/506	1.01
	2	1/306	1/321	1.05	1/341	1/356	1.04
	1	1/285	1/418	1.47	1/301	1/440	1.46

(3) 一次設計検定比

一次設計における長期許容曲げ応力度に対する検定比を 1 階中柱の柱頭および 2 階大梁の中央について比較する。

D スルー標準柱脚は柱脚の回転剛性の影響で、柱頭モーメントが低減し、梁中央モーメントが増加することが予想されるが、1 階建ての CASE-1、および 1 スパンの CASE-2・CASE-4 のはり間方向でその傾向が若干示される程度である。

表 4-15 長期検定比の比較

CASE名	部位	桁行方向			部位	はり間方向		
		Dスルー標準柱脚	埋め込み固定柱脚	比率		Dスルー標準柱脚	埋め込み固定柱脚	比率
CASE-1	2-B柱頭	0.21	0.21	1.00	2-B柱頭	0.18	0.18	1.00
	1-B梁中央	0.34	0.33	1.03	2-A梁中央	0.72	0.71	1.01
CASE-2	2-A柱頭	0.21	0.21	1.00	2-A柱頭	0.44	0.46	0.96
	1-A梁中央	0.17	0.17	1.00	2-A梁中央	0.60	0.59	1.02
CASE-3	2-B柱頭	0.45	0.45	1.00	2-B柱頭	0.44	0.44	1.00
	1-B梁中央	0.15	0.15	1.00	2-A梁中央	0.35	0.35	1.00
CASE-4	2-A柱頭	0.26	0.26	1.00	2-A柱頭	0.49	0.51	0.96
	1-A梁中央	0.12	0.12	1.00	2-A梁中央	0.54	0.54	1.00

次に短期許容曲げ応力度に対する検定比を 1 階中柱の柱頭および 2 階大梁の端部について比較する。

D スルー標準柱脚は柱の検定比が 1.11～1.16 倍に、梁の検定比が 1.03～1.09 倍に増加する。

表 4-16 短期検定比の比較

CASE名	桁行方向				はり間方向			
	部位	Dスルー 標準柱脚	埋め込み 固定柱脚	比率	部位	Dスルー 標準柱脚	埋め込み 固定柱脚	比率
CASE-1	2-B柱頭	0.45	0.40	1.13	2-B柱頭	0.44	0.38	1.16
	2-B梁端	0.64	0.62	1.03	2-B梁端	0.72	0.69	1.04
CASE-2	2-A柱頭	0.53	0.47	1.13	2-A柱頭	0.67	0.62	1.08
	2-A梁端	0.71	0.67	1.06	2-A梁端	0.88	0.84	1.05
CASE-3	2-B柱頭	0.81	0.72	1.13	2-B柱頭	0.82	0.73	1.12
	2-B梁端	0.74	0.70	1.06	2-B梁端	0.96	0.91	1.05
CASE-4	2-A柱頭	0.51	0.44	1.16	2-A柱頭	0.68	0.61	1.11
	2-A梁端	0.82	0.75	1.09	2-A梁端	0.83	0.78	1.06

ここで、検定比の増加が最も大きい CASE-4 の桁行方向について、埋め込み固定柱脚の柱および梁を 1 サイズ小さくできるかどうかについて略算的に検討する。

柱 C1 (□-350x12) は断面積 $A_1=157.3\text{cm}^2$ 、断面係数 $Z_1=1680\text{cm}^3$ である。これより断面積が小さく幅厚比を満足する角形鋼管は □-300x12 で、断面積 $A_2=133.3\text{cm}^2$ 、断面係数 $Z_2=1200\text{cm}^3$ である。断面積の比 $A_1/A_2=1.18$ 、断面係数の比 $Z_1/Z_2=1.40$ で、検定比の増加率より断面係数の比の方が大きいため、同程度の検定比で 1 サイズ小さくすることは難しい。

梁 G2 (H-446x199x9x12) の断面係数 $Z_1=1260\text{cm}^3$ 、これより断面積の小さい H 形鋼は H-396x199x7x11 で断面係数 $Z_2=999\text{cm}^3$ である。断面係数の比 $Z_1/Z_2=1.26$ で、検定比の増加率より大きいため、同程度の検定比で 1 サイズ小さくすることは難しい。

すなわち、D スルー標準柱脚は埋め込み固定柱脚と同一の柱梁断面で設計することが可能である。

(4) 保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力に対する保有水平耐力の比 (Q_u/Q_{un}) を比較する。

Dスルー標準柱脚の場合、1階の Q_u が減少し D_s が 0.05 割増になるため、埋め込み固定柱脚に比べて Q_u/Q_{un} が 0.6~0.8 程度になる。従って、埋め込み固定柱脚で試設計する際には Q_u/Q_{un} に余裕があることを確認しておく。しかし、通常の中低層ラーメン構造では層間変形角や一次設計時検定比で部材の断面が決まっているため、全てのケースで Q_u/Q_{un} は 1 以上となり、十分安全側の結果となっている。

表 4-17 Q_u/Q_{un} の比較

CASE名	階	桁行方向			はり間方向		
		Dスルー 標準柱脚	埋め込み 固定柱脚	比率	Dスルー 標準柱脚	埋め込み 固定柱脚	比率
CASE-1	1	2.42	3.68	0.66	2.27	3.61	0.63
CASE-2	2	1.86	2.43	0.77	2.33	2.39	0.97
	1	1.55	2.43	0.64	1.94	2.39	0.81
CASE-3	3	1.77	2.05	0.86	1.70	1.97	0.86
	2	1.77	2.05	0.86	1.70	1.97	0.86
	1	1.48	2.05	0.72	1.42	1.97	0.72
CASE-4	3	1.94	2.14	0.90	2.20	2.47	0.89
	2	1.94	2.14	0.90	2.20	2.47	0.89
	1	1.61	2.14	0.75	1.83	2.47	0.74

(5) 柱梁耐力比

柱梁接合部が十字型となる CASE-2~4 について柱梁耐力比図を示す。CASE-4 は若干、柱梁耐力比に余裕があるが、CASE-2 および CASE-3 は適切な柱梁耐力比になっており、埋め込み固定柱脚とした場合でもこれ以上柱断面を小さくすることが難しいことがわかる。

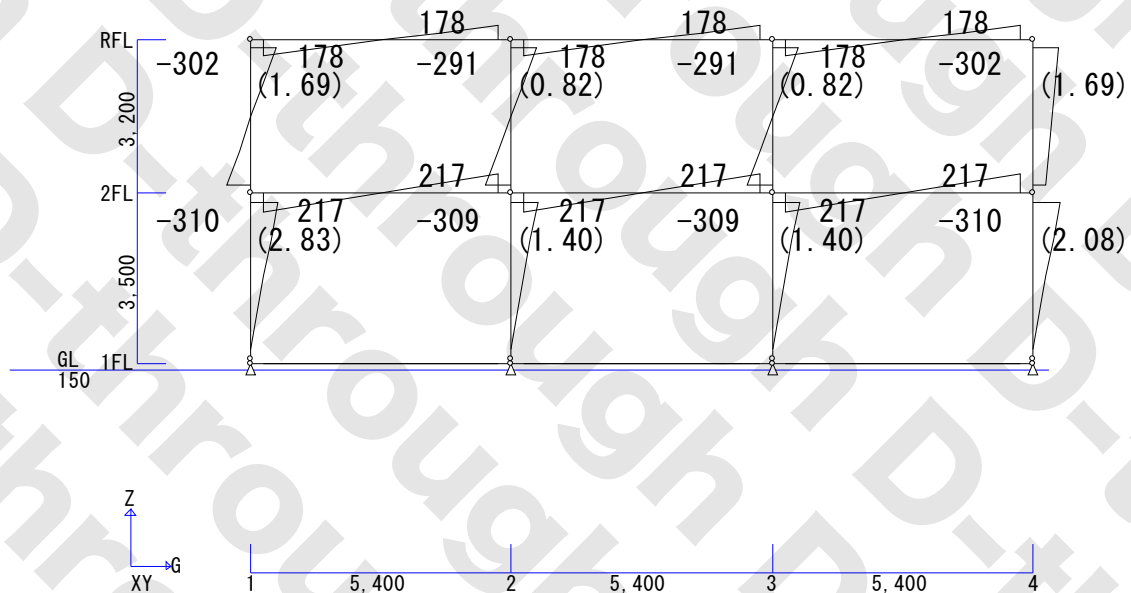
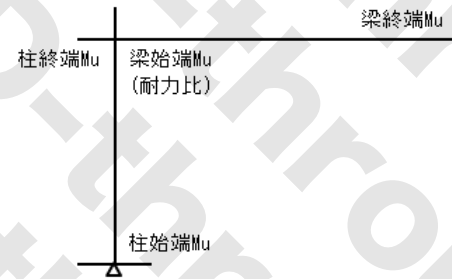


図 4-26 CASE-2 A 通 (桁行方向) 柱梁耐力比図

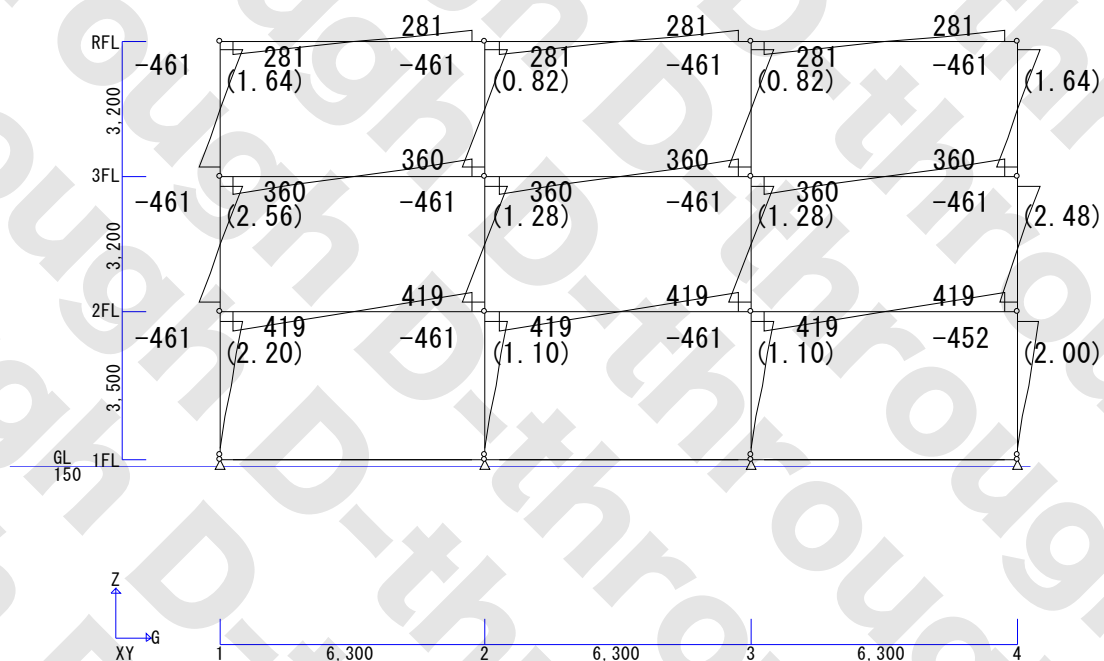


図 4-27 CASE-3 B 通（桁行方向）柱梁耐力比図

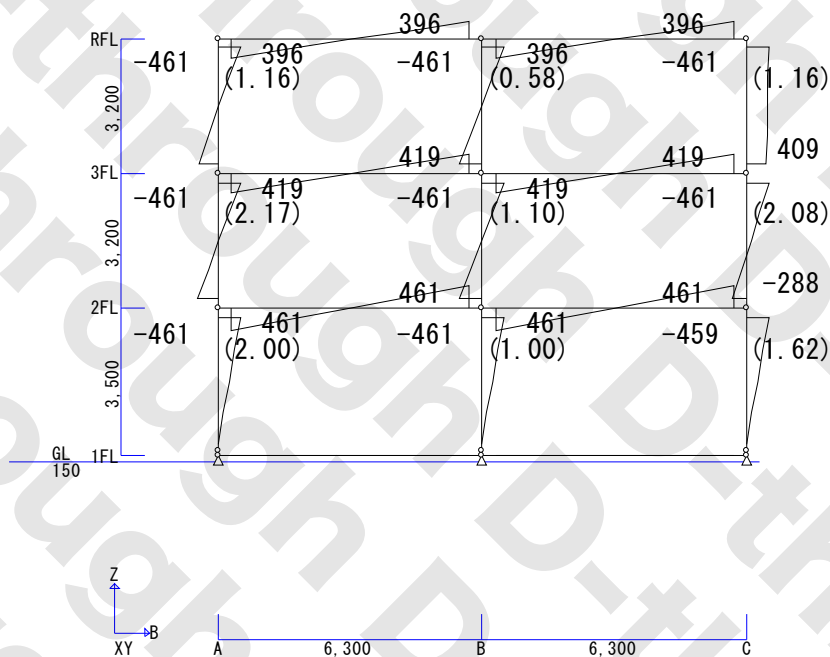


図 4-28 CASE-3 2 通（はり間方向）柱梁耐力比図

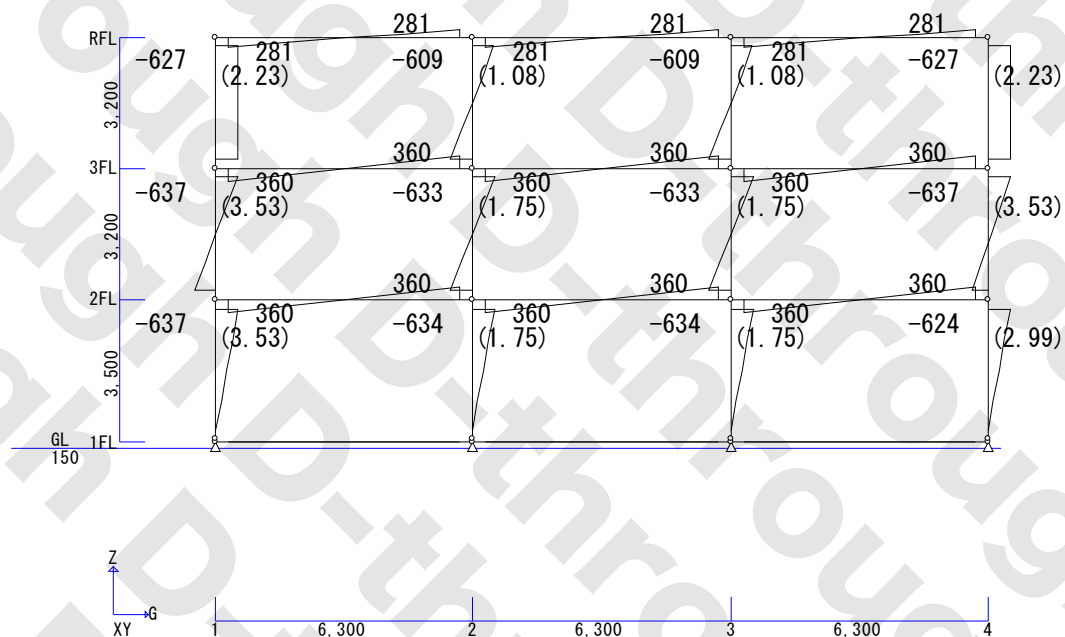


图 4-29 CASE-4 A 通（桁行方向）柱梁耐力比图