

「RC規準改定に関する第2回公開小委員会」
解析WG

計算例

8条 構造解析の基本事項

9条 骨組の解析

(株)竹中工務店 角 彰

2008年3月31日

計算例： 建物概要／使用材料

中規模事務所ビルを対象。

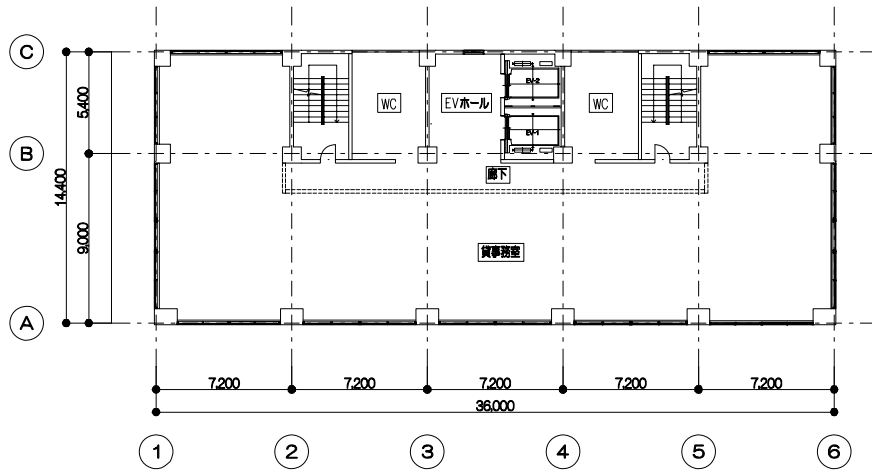
コンピューター一貫計算手法での設計。

耐震スリットの無いRC造。

【延べ面積】 3628.8 m²
【建築面積】 518.4 m²
【構造】 鉄筋コンクリート造
【階数】 地上 7 階
【高さ】 28.30 m
【軒の高さ】 27.70 m

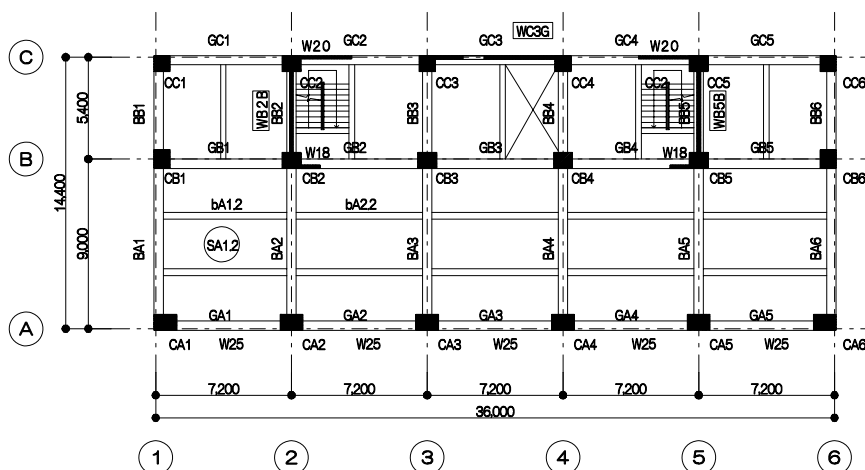
材料	設計基準強度 又は品質	使用部位
普通 コンクリート	Fc24	4階立上り以上
	Fc30	基礎～4階床
	Fc27	杭
鉄筋	SD295A	D16以下
	SD345	D19～D25
	SD390	D29

計算例： 建築図（基準階平面図）



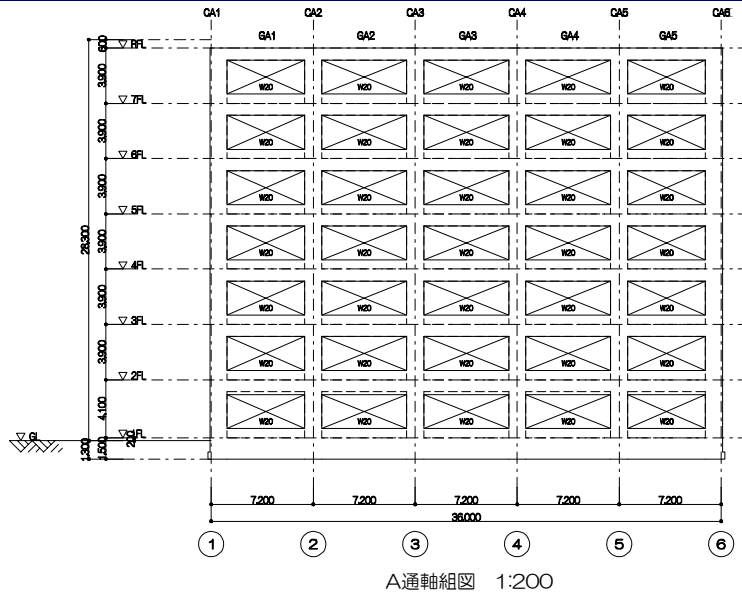
基準階平面図 1:200

計算例： 構造図（基準階床伏図）

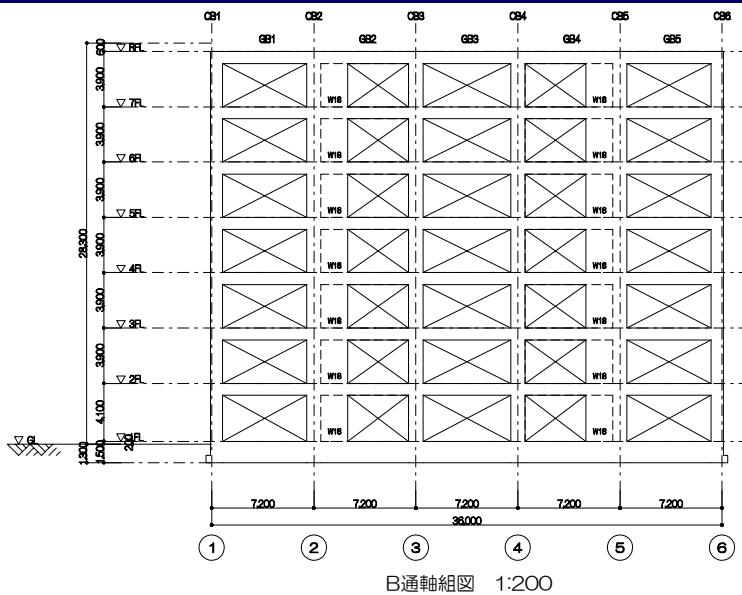


基準階床伏図 1:200

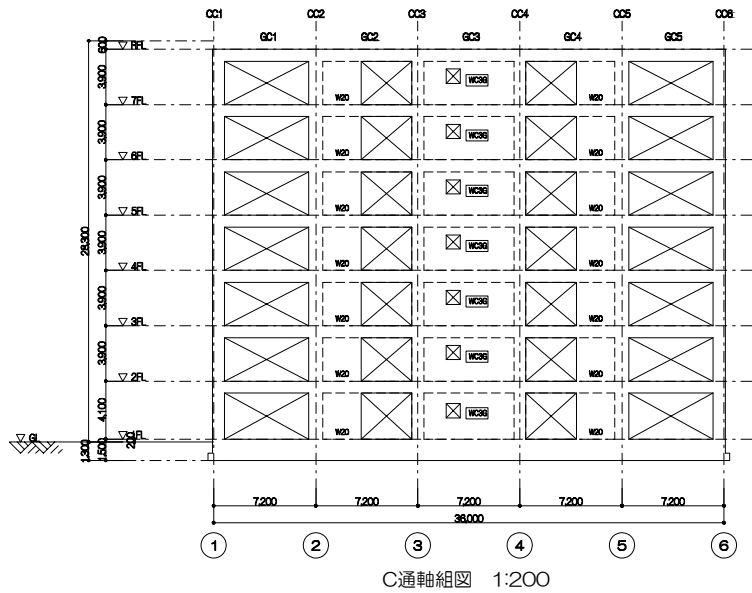
計算例： 構造図（A通り軸組図）



計算例： 構造図（B通り軸組図）



計算例： 構造図（C通り軸組図）

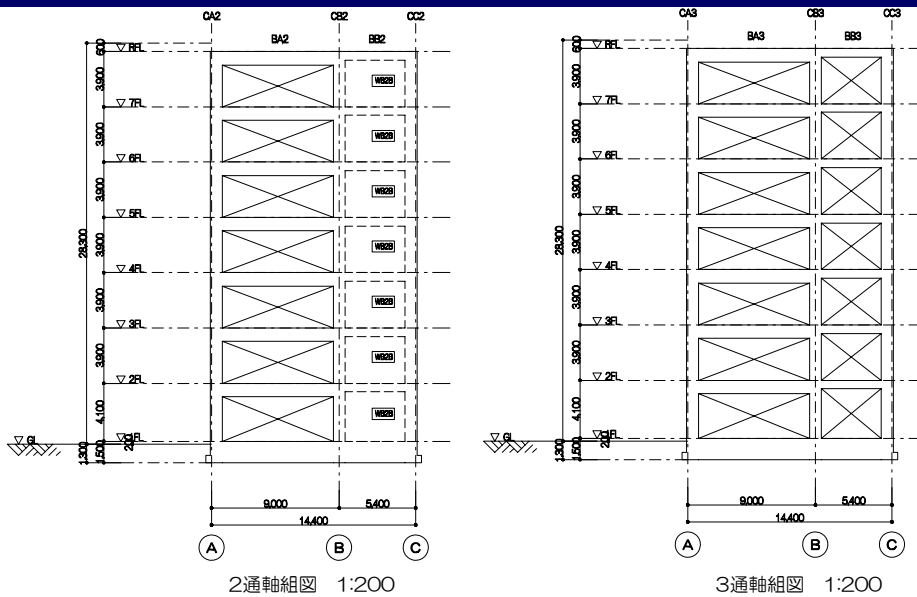


RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

解析WG

6 / 46

計算例： 構造図（2・3通り軸組図）



RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

解析WG

7 / 46

計算例： 構造計画の特徴

- ・ 構造種別は鉄筋コンクリート造とし、架構形式はX方向・Y方向ともコア部分に耐力壁を有するラーメン構造とする。
- ・ X方向A通り大梁は腰壁を設けて剛性を高め、C通り耐震壁架構とできるだけバランスさせる。なお、腰壁を考慮しても柱内法スパンは柱成の2倍を確保できるように配慮した。
- ・ X方向B通りは、2通り、5通りから長さ2.4mの袖壁を有する柱とする。
- ・ X方向C通りは、3-4通り間を開口つき耐震壁とし、2通り、5通りから長さ3.2mの袖壁を有する柱を設ける。
- ・ Y方向は2通りと5通りのB-C通り間(階段横)を無開口耐震壁として、剛性を高める。
- ・ 杭は先端がGL-30mのアースドリル工法による場所打ちコンクリート杭を用いる。

計算例： 構造設計方針

- ・ 構造計算ルートは大地震に対する保有耐力計算を行うルート3とする。
- ・ 地盤は第二種地盤とし、 $A_i \cdot R_t$ ・建物一次固有周期は告示による略算式を用いて算出する。
- ・ 応力解析には一貫構造計算プログラム「BRAIN-RC・旧認定番号TRPG-0001」を使用する。
- ・ 許容応力度計算に用いる応力・変形は、ひび割れを考慮した立体静的弾塑性解析結果を用いる。
- ・ 腰壁付き梁、そで壁付き柱は壁を構造部材として扱い、耐力、剛性ともに適切に評価する。

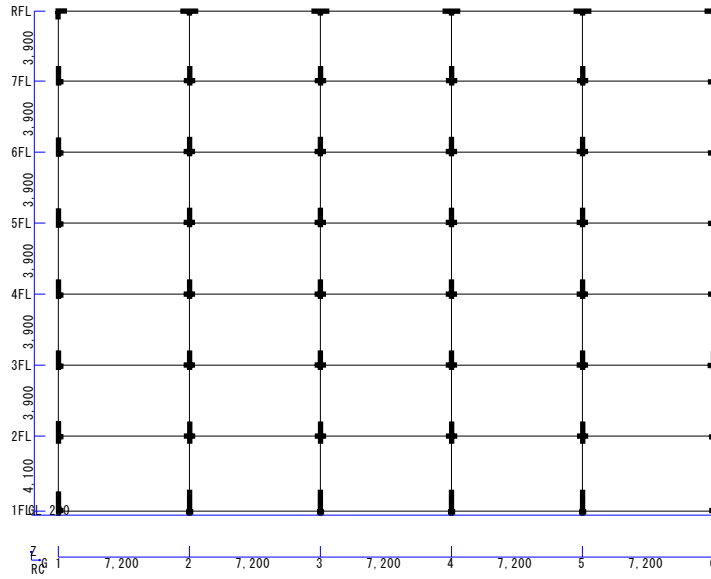
計算例：応力解析方針

- ・解析における部材のモデル化は、梁：材端剛塑性回転バネつき曲げせん断線材要素、柱：材端剛塑性回転バネつき曲げせん断軸力線材要素、耐震壁：壁谷澤モデル(上下の剛梁に接続する柱要素と両端ピンの軸方向弾塑性バネ)に置換して行う。
- ・梁要素と柱要素の回転バネには曲げひび割れ強度と曲げ降伏強度を持ったトリリニア復元力特性、耐震壁要素のせん断バネにはせん断ひび割れ強度とせん断降伏強度を持ったトリリニア復元力特性、その他は降伏のみ考慮するバイリニア復元力特性を与えて解析を行う。
- ・柱梁接合部は剛域を設定し、剛域端は材成の1/4入った位置とする。
- ・袖壁つき柱と腰壁つき梁の初期剛性(弾性剛性)は、変断面部材として精算して求める。ひび割れによる剛性低下率は袖壁や腰壁がないものとして算出し、初期剛性に乗じてひび割れ後剛性とした。
- ・上部構造の応力解析時は最下階ピン支持モデルとし、基礎バネは設けない。

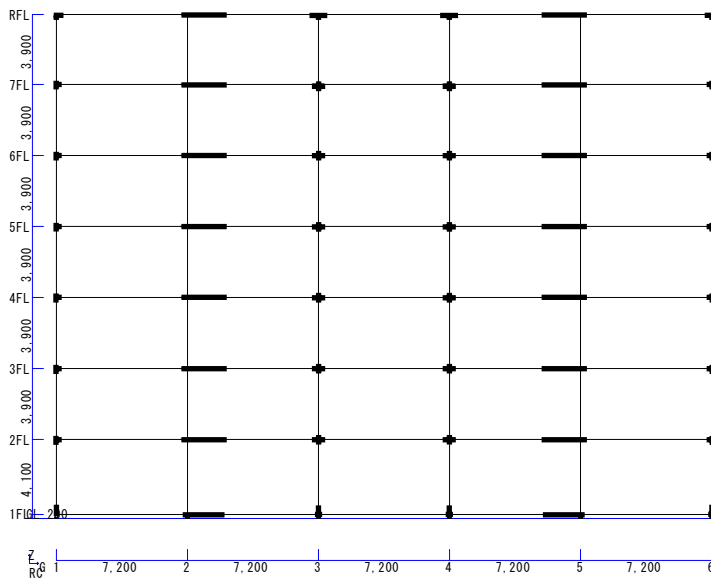
計算例：許容応力度設計

- ・柱および梁の設計用せん断力は、1次設計用応力に対して修復性の確保を目的にしたせん断設計を行う。従って設計用せん断力は $Q_D=Q_L+Q_E$ とする。
- ・腰壁つき梁の短期曲げ設計設計では、変断面部材として腰壁の縁応力度を $2/3F_c$ 以下、あるいは壁筋を降伏応力度以下に抑える。袖壁つき柱も同様である。
- ・基礎の浮き上がりに対しては、1次設計においては杭の許容引抜き抵抗力以下であることを確認する。
- ・変形角、偏心率、剛性率などの検討は、弾性と剛性低下考慮の両者のうち危険側を採用する。

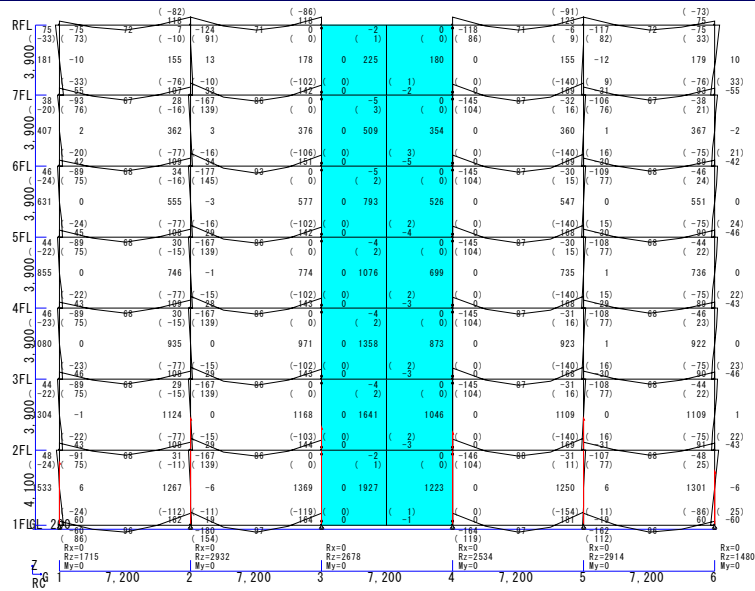
計算例： 解析モデル図 (A通り)



計算例： 解析モデル図 (B通り)



計算例： 応力図（長期応力／C通り）

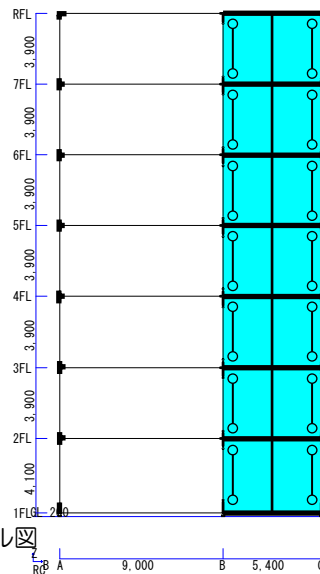


RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

解析WG

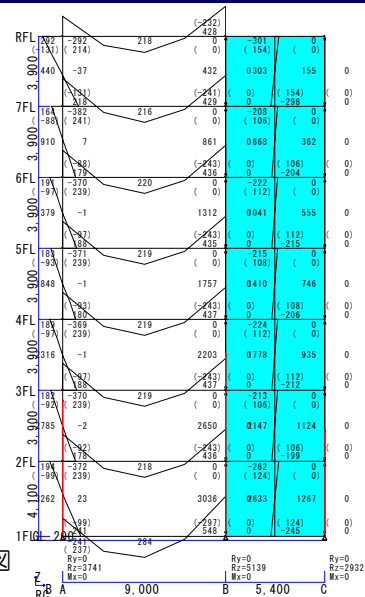
14 / 46

計算例： 解析モデル図・応力図（長期応力／2通り）



解析モデル図

応力図

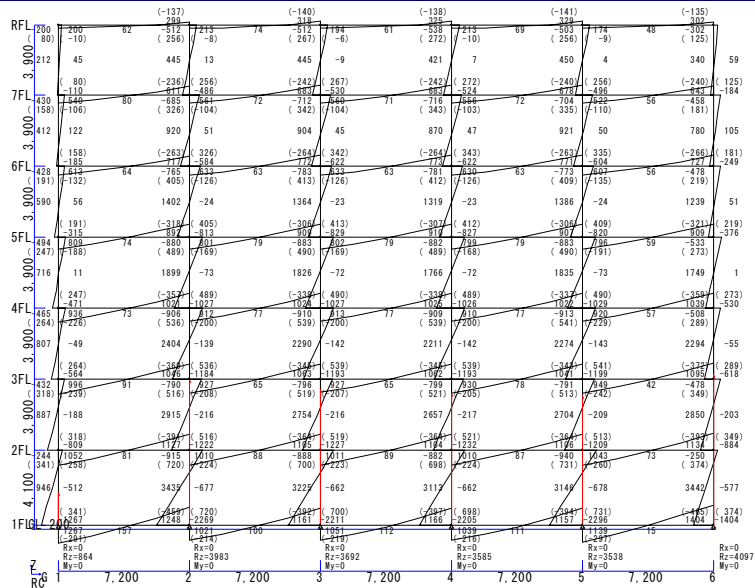


RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

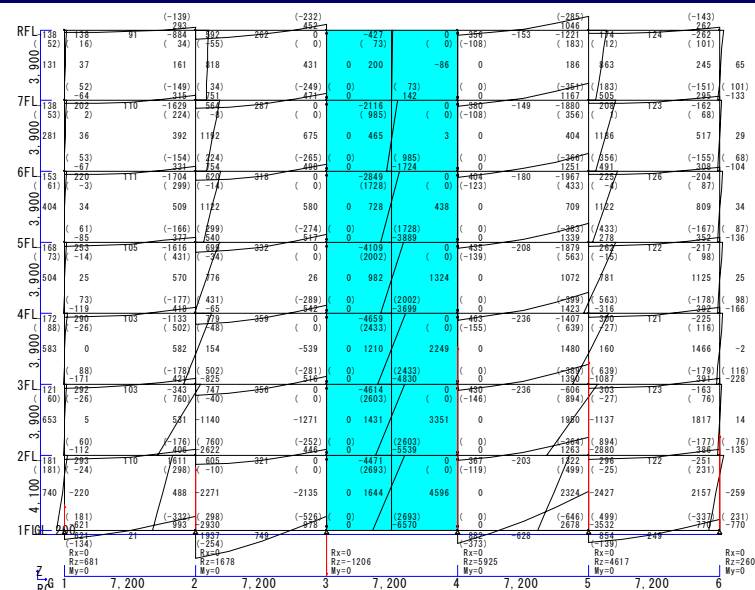
解析WG

15 / 46

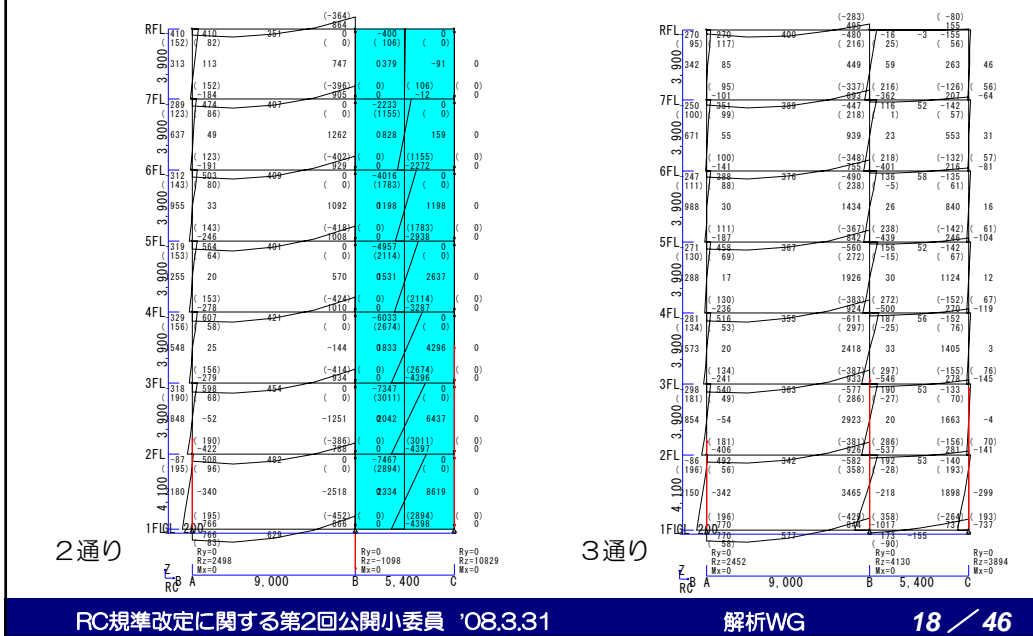
計算例： 応力図（短期応力：A通り）



計算例： 応力図（短期応力：C通り）



計算例： 応力図（短期応力：2・3通り）



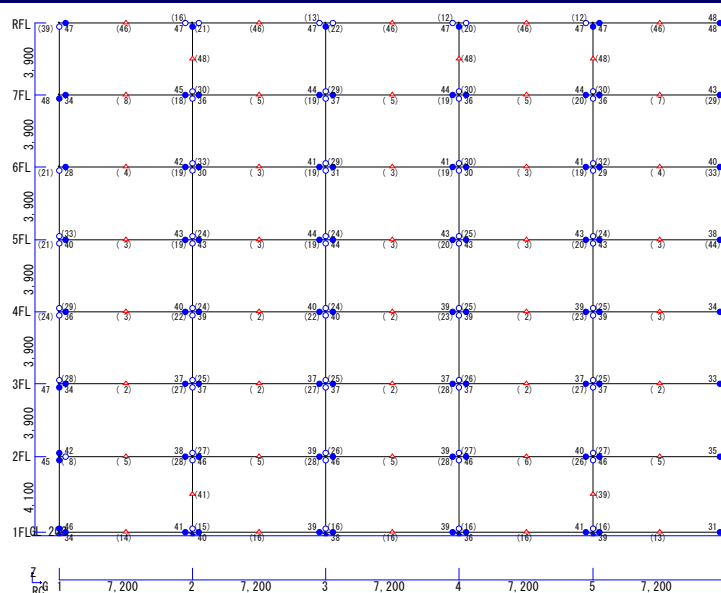
計算例： 層間変形角／剛性率／偏心率

方向	階	Ci	耐震壁の分担率 (%)	最大の層間変形角		剛性率		偏心率		Fes
				弾性	弾塑性	弾性	弾塑性	弾性	弾塑性	
X	7	0.427	7.4	1/2883	1/1963	1.443	1.499	0.005	0.128	1.000
	6	0.338	18.8	1/2190	1/1510	1.114	1.153	0.081	0.067	1.000
	5	0.295	23.5	1/1794	1/1225	0.923	0.936	0.123	0.115	1.000
	4	0.264	26.0	1/1601	1/1068	0.827	0.816	0.136	0.121	1.000
	3	0.240	29.4	1/1546	1/1007	0.806	0.769	0.158	0.133	1.028
	2	0.219	31.9	1/1589	1/1039	0.837	0.793	0.186	0.169	1.119
	1	0.200	32.6	1/2061	1/1354	1.050	1.034	0.132	0.077	1.000
Y	7	0.427	1.6	1/1364	1/831	1.143	1.199	0.014	0.014	1.000
	6	0.338	42.0	1/1130	1/721	0.952	1.041	0.025	0.025	1.000
	5	0.295	50.3	1/1019	1/663	0.863	0.957	0.030	0.030	1.000
	4	0.264	54.6	1/975	1/611	0.831	0.882	0.034	0.034	1.000
	3	0.240	59.1	1/1016	1/601	0.872	0.867	0.040	0.040	1.000
	2	0.219	66.0	1/1129	1/613	0.972	0.885	0.041	0.041	1.000
	1	0.200	68.7	1/1584	1/810	1.367	1.169	0.043	0.043	1.000

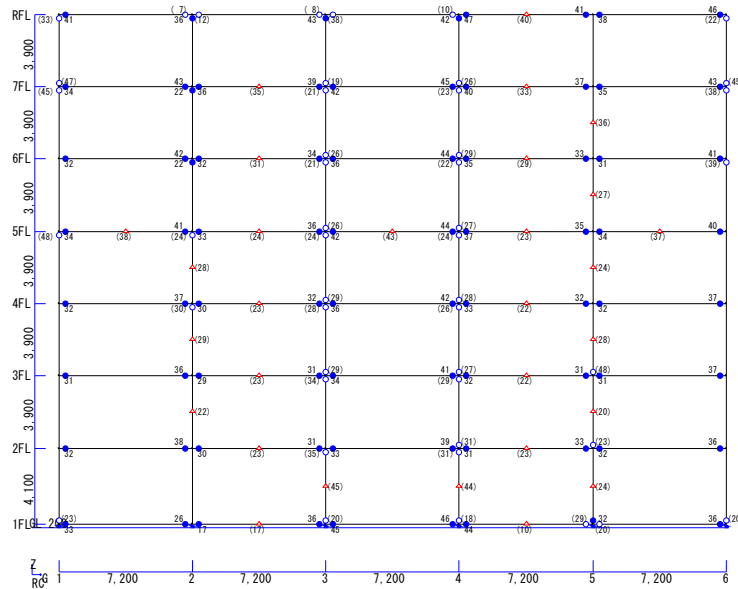
計算例： 保有水平耐力計算方針

- ・解析モデルは一次設計と同じ架構モデルとする。外力分布はAi分布とし、**基礎の浮き上がり**を拘束して崩壊メカニズムを形成させてDsを決定した。
- ・X方向は概ね全ての梁端に曲げヒンジが生じる崩壊メカニズムとなる。腰壁つき梁では壁体の圧壊が先行するという実験結果もあり、**FBランク部材**とした。耐震壁分担率が多くなる1階、FB部材とFA部材の比率により、Ds=0.30とDs=0.35の階が混在する。
- ・Y方向の保有耐力算出に際しては、**基礎の浮き上がり**と直交抑え効果を考慮した。FA・WAの組合せであるが、耐震壁分担率が30%を超えるのでDs=0.35となる。
- ・終局強度を計算する場合の鉄筋強度は基準強度を1.1倍した値を用いる。
- ・せん断終局強度は荒川mean式を採用した。
- ・袖壁付き柱部材のランク判定においては軸力比、せん断応力比および鉄筋比は袖壁を含んだ面積で判定し、 h_0/D は柱の断面のみで判定した。
- ・メカニズム形成時は概ね1/50程度で、保有耐力時は1/100程度とした。

計算例： メカニズム図 (A通り)



計算例：メカニズム図（B通り）

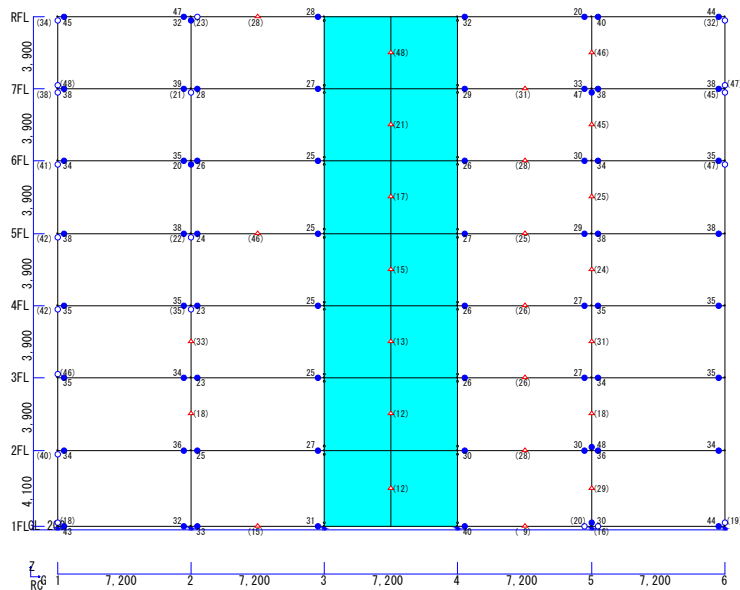


RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

解析WG

22 / 46

計算例：メカニズム図（C通り）

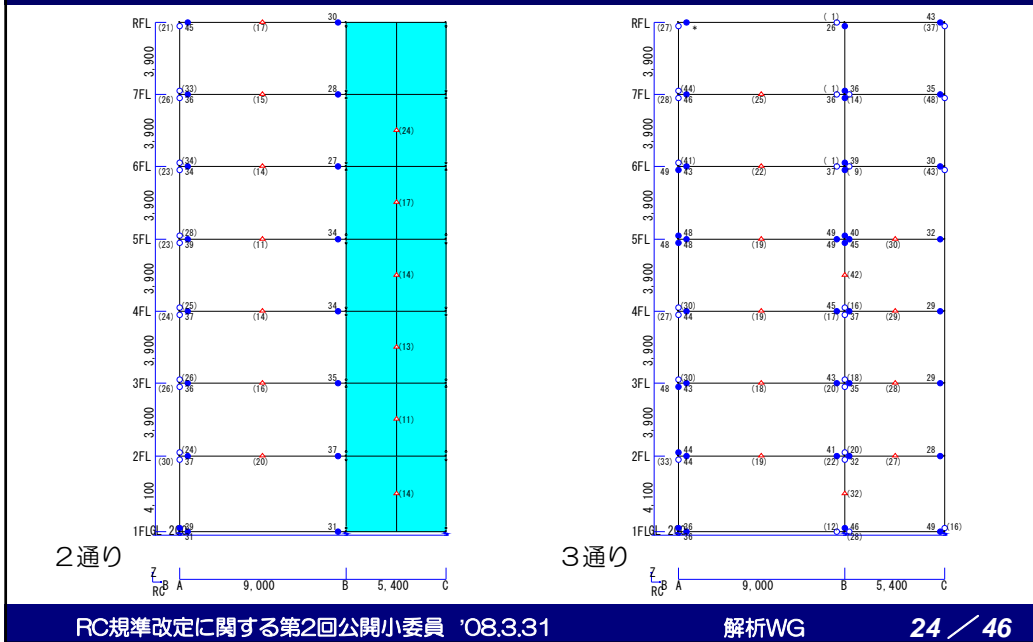


RC規準改定に関する第2回公開小委員 '08.3.31

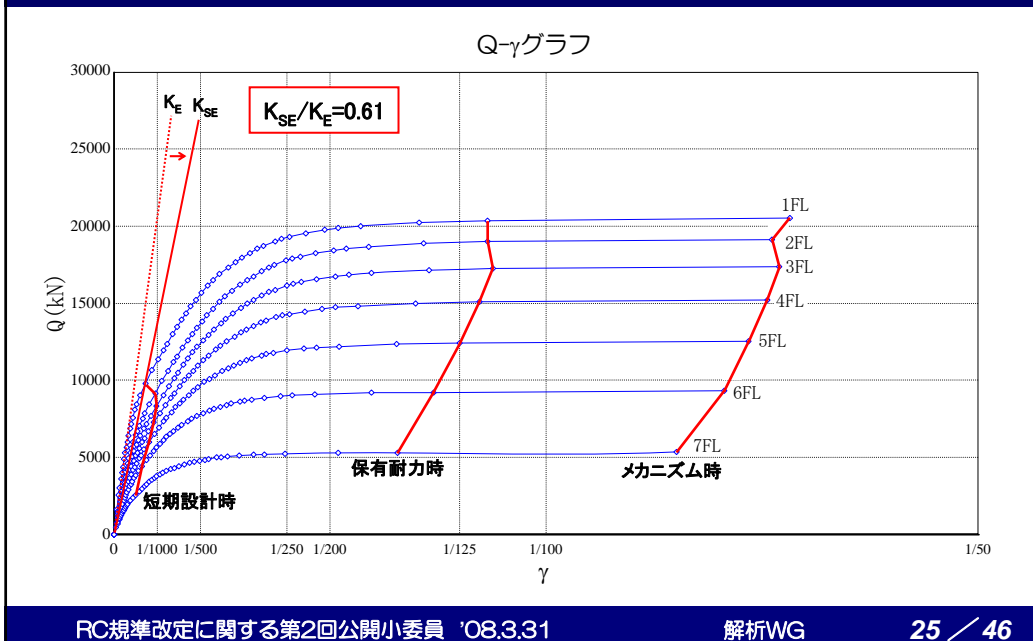
解析WG

23 / 46

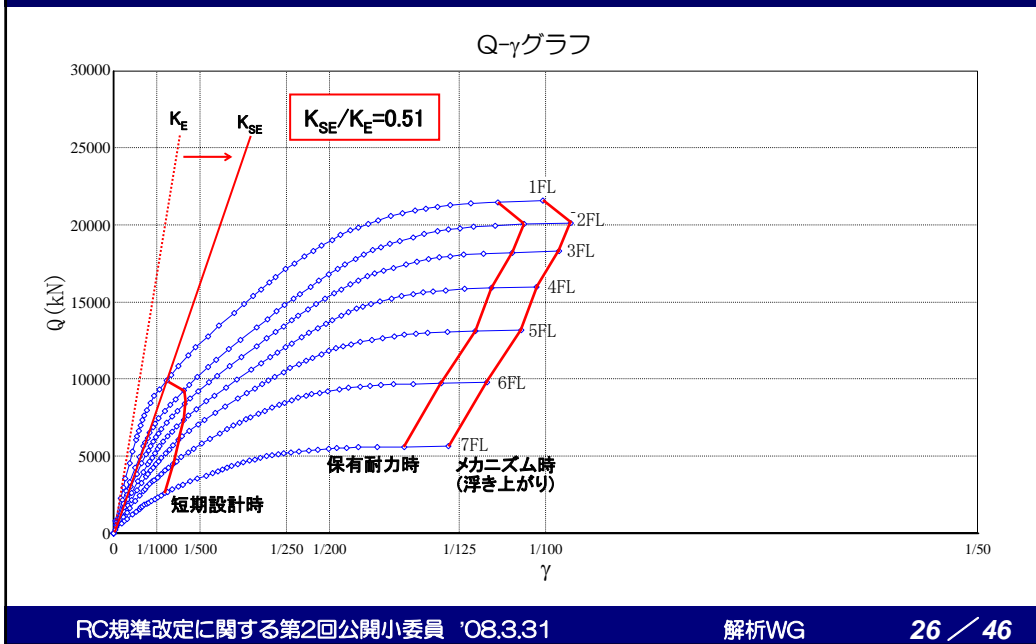
計算例： メカニズム図（2・3通り）



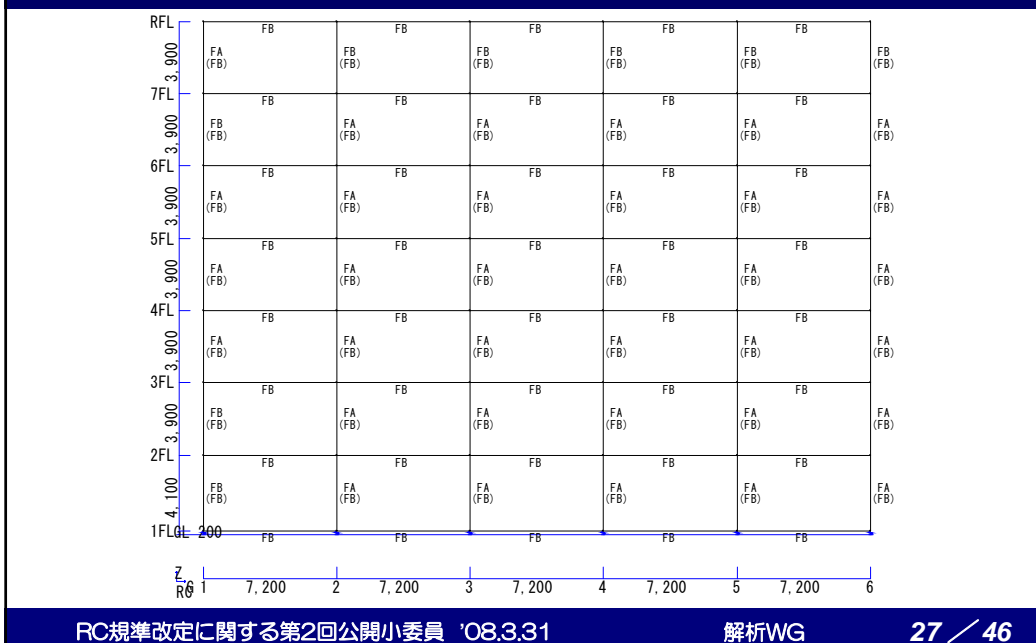
計算例： Q- γ 関係図（X方向正加力時）



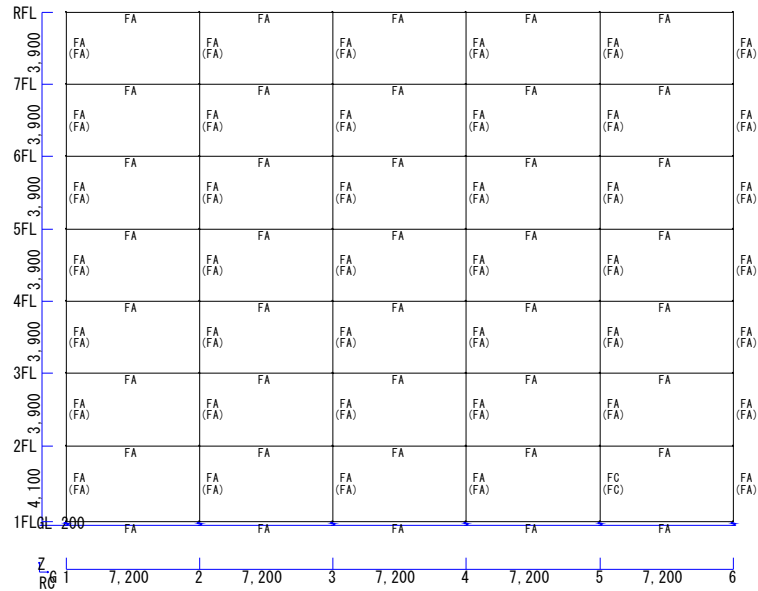
計算例： Q- γ 関係図 (Y方向正加力時)



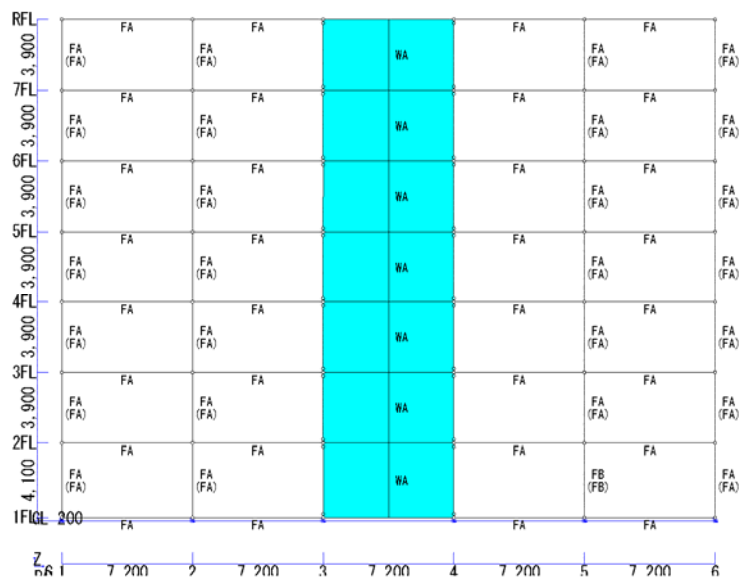
計算例： 部材ランク図 (A通り)



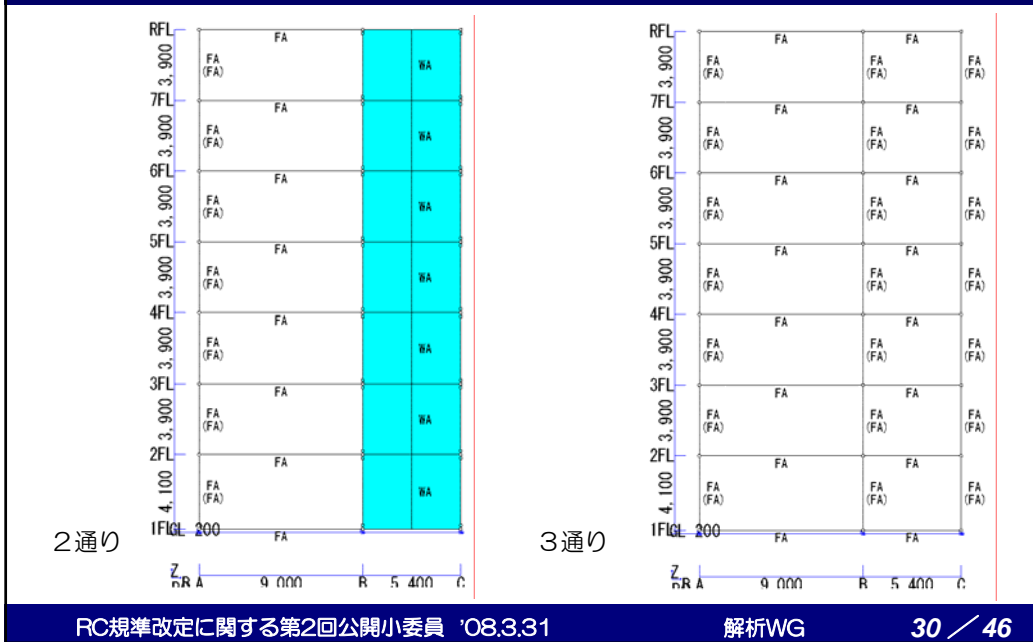
計算例： 部材ランク図 (B通り)



計算例： 部材ランク図 (C通り)



計算例： 部材ランク図（2・3通り）



計算例： 保有水平耐力計算結果（X方向）

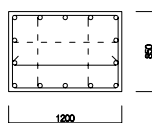
方向	階	柱ランク	耐震壁ランク	βu	D_s	F_{es}	Q_{ud} (kN)	Q_{un} (kN)	Q_u (kN)	Q_u/Q_{un}	判定
+X	7	FB	WA	0.20	0.35	1.00	12,478	4,367	5,350	1.225	OK
	6	FA	WA	0.23	0.30	1.00	21,662	6,499	9,288	1.429	OK
	5	FB	WA	0.22	0.35	1.00	29,176	10,212	12,509	1.225	OK
	4	FB	WA	0.25	0.35	1.00	35,408	12,393	15,181	1.225	OK
	3	FA	WA	0.26	0.30	1.03	40,538	12,506	17,381	1.390	OK
	2	FB	WA	0.24	0.35	1.12	44,642	17,487	19,140	1.095	OK
	1	FB	WA	0.28	0.35	1.00	47,789	16,726	20,489	1.225	OK

計算例： 保有水平耐力計算結果（Y方向）

方向	階	柱ランク	耐震壁ランク	βu	Ds	Fes	Qud (kN)	Qun (kN)	Qu (kN)	Qu/Qun	判定
+Y	7	FA	WA	0.16	0.30	1.00	12,478	3,743	5,624	1.502	OK
	6	FA	WA	0.47	0.35	1.00	21,662	7,582	9,764	1.288	OK
	5	FA	WA	0.50	0.35	1.00	29,176	10,212	13,151	1.288	OK
	4	FA	WA	0.47	0.35	1.00	35,408	12,393	15,959	1.288	OK
	3	FA	WA	0.55	0.35	1.00	40,538	14,188	18,272	1.288	OK
	2	FA	WA	0.58	0.35	1.00	44,642	15,625	20,121	1.288	OK
	1	FA	WA	0.53	0.35	1.00	47,789	16,726	21,539	1.288	OK
-Y	7	FA	WA	0.21	0.30	1.00	12,478	3,743	4,631	1.237	OK
	6	FA	WA	0.40	0.35	1.00	21,662	7,582	8,040	1.060	OK
	5	FA	WA	0.43	0.35	1.00	29,176	10,212	10,829	1.060	OK
	4	FA	WA	0.45	0.35	1.00	35,408	12,393	13,141	1.060	OK
	3	FA	WA	0.49	0.35	1.00	40,538	14,188	15,046	1.060	OK
	2	FA	WA	0.50	0.35	1.00	44,642	15,625	16,569	1.060	OK
	1	FA	WA	0.49	0.35	1.00	47,789	16,726	17,736	1.060	OK

計算例： 断面設計（一般柱：1階CA2）

安全性検討用の短期設計（1.5QE）

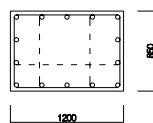


主筋 14-UD32
帯筋 LD13日@100

材料名称	1CA2			
	FC30			
断面形状	1200×850			
重心座標 (k/mm ²)	FC30			
Bx × By (d) (mm)	1200 × 850			
NL (kN)	-3203(1)			-3229(1)
ML (kN)	-0(1)	194(1)	1(1)	-241(1)
PL (kN)	-1(1)	99(1)	-1(1)	99(1)
NS (kN)	-3090(4)	-4520(6)	-3114(4)	-4595(6)
MS (kN)	560(4)	324(6)	1310(4)	-1120(6)
PS (kN)	-732(4)	410(6)	-732(4)	410(6)
NL (kN)	113	-1352	115	-1351
ML (kN)	560	130	1308	-879
PL (kN)	-730	311	-730	311
Ny (kN)	3097	2795	3123	2818
My (kN)	1607	1081	3337	1920
Mx (kN)	1097	565	1097	565
NAL (kN)	1421	1032	1422	1033
MAL (kN)	2663	2041	2672	2042
PAL (kN)	888	645	888	645
NAL (kN)	1306	986	1306	986
軸力偏心検定比 (L)	0.00	0.19	0.00	0.23
軸力偏心検定比 (D)	0.21	0.18	0.49	0.55
せん断検定比 (L)	0.00	0.15	0.00	0.15
せん断検定比 (D)	0.84	0.57	0.84	0.57
判定結果	OK	OK	OK	OK
判理由	-	-	-	-

短期設計用せん断力 Qd=1097 kN
せん断検定比 0.84

修復性検討用の短期設計（1.0QE）



主筋 14-UD32
帯筋 LD13日@100

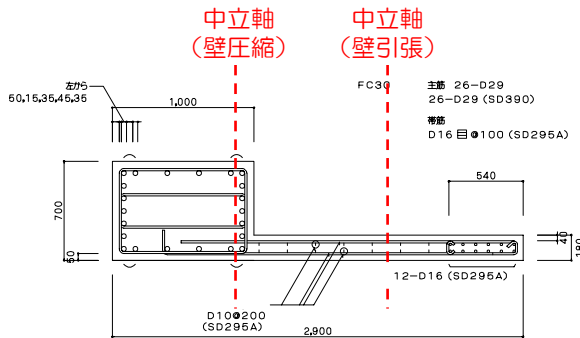
材料名称	1CA2			
	FC30d			
断面形状	1200×850			
重心座標 (k/mm ²)	FC30d			
Bx × By (d) (mm)	1200 × 850			
NL (kN)	-3203(1)			-3229(1)
ML (kN)	-0(1)	194(1)	1(1)	-241(1)
PL (kN)	-1(1)	99(1)	-1(1)	99(1)
NS (kN)	-3090(4)	-4520(6)	-3114(4)	-4595(6)
MS (kN)	560(4)	324(6)	1310(4)	-1120(6)
PS (kN)	-732(4)	410(6)	-732(4)	410(6)
NL (kN)	113	-1352	115	-1351
ML (kN)	560	130	1308	-879
PL (kN)	-730	311	-730	311
Ny (kN)	3097	2795	3123	2818
My (kN)	1607	1081	3337	1920
Mx (kN)	732	410	732	410
NAL (kN)	1421	1032	1422	1033
MAL (kN)	2663	2041	2672	2042
PAL (kN)	888	645	888	645
NAL (kN)	785	659	785	659
軸力偏心検定比 (L)	0.00	0.19	0.00	0.23
軸力偏心検定比 (D)	0.21	0.18	0.49	0.55
せん断検定比 (L)	0.00	0.15	0.00	0.15
せん断検定比 (D)	0.93	0.62	0.93	0.62
判定結果	OK	OK	OK	OK
判理由	-	-	-	-

短期設計用せん断力 Qd=732 kN
せん断検定比 0.93

2次設計時も
同上

計算例： 断面設計（袖壁柱：3階CB2）

3階CB2



曲げ（壁圧縮）

$M_{AL}=2801 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DL}=30 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$
 $M_{AS}=5242 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DS}=699 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$

曲げ（壁引張）

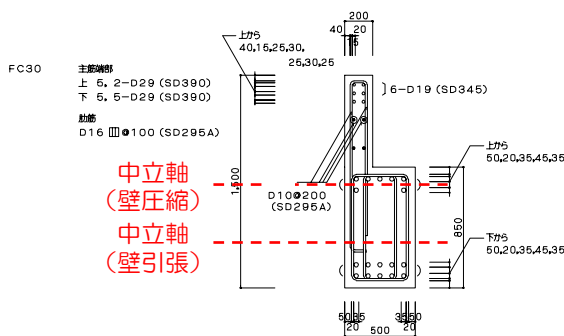
$M_{AL}=3334 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DL}=30 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$
 $M_{AS}=4122 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DS}=856 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$

せん断

$Q_{AS}=1838 \text{ kN} > Q_{DS}=482 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$

計算例： 断面設計（腰壁梁：3階GA2）

3階GA2



曲げ（上端引張）

$M_{AL}=677 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DL}=88 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$
 $M_{AS}=940 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DS}=911 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$

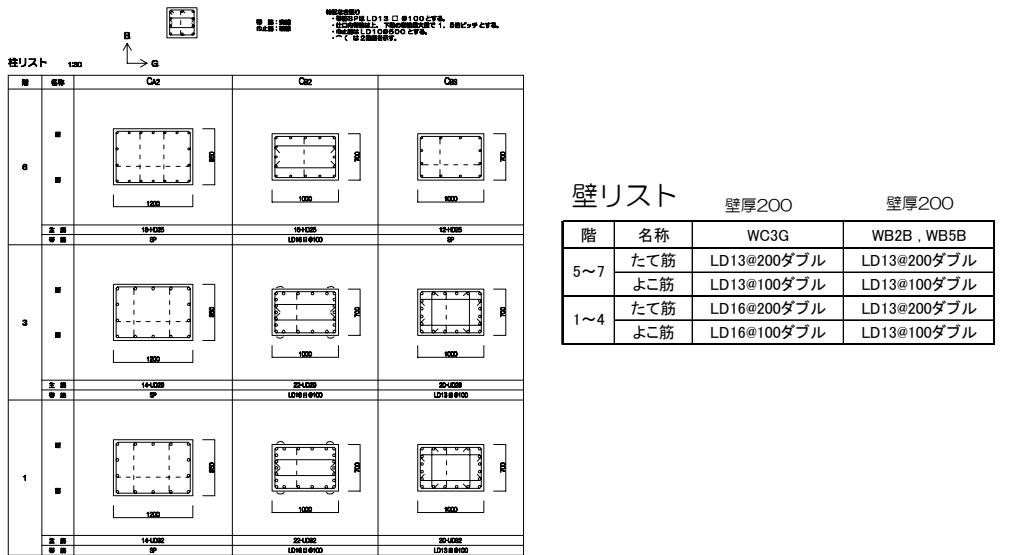
曲げ（下端引張）

$M_{AL}=927 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DL}=45 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$
 $M_{AS}=1819 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{DS}=781 \text{ kN}\cdot\text{m} \rightarrow \text{OK}$

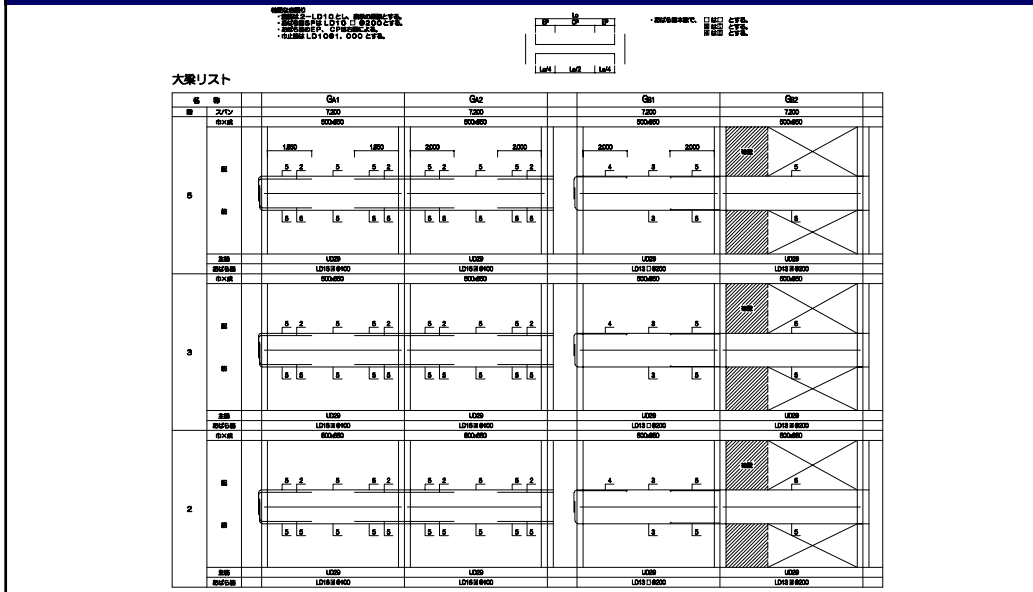
せん断

$Q_{AS}=839 \text{ kN} > Q_{DS}=336 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$

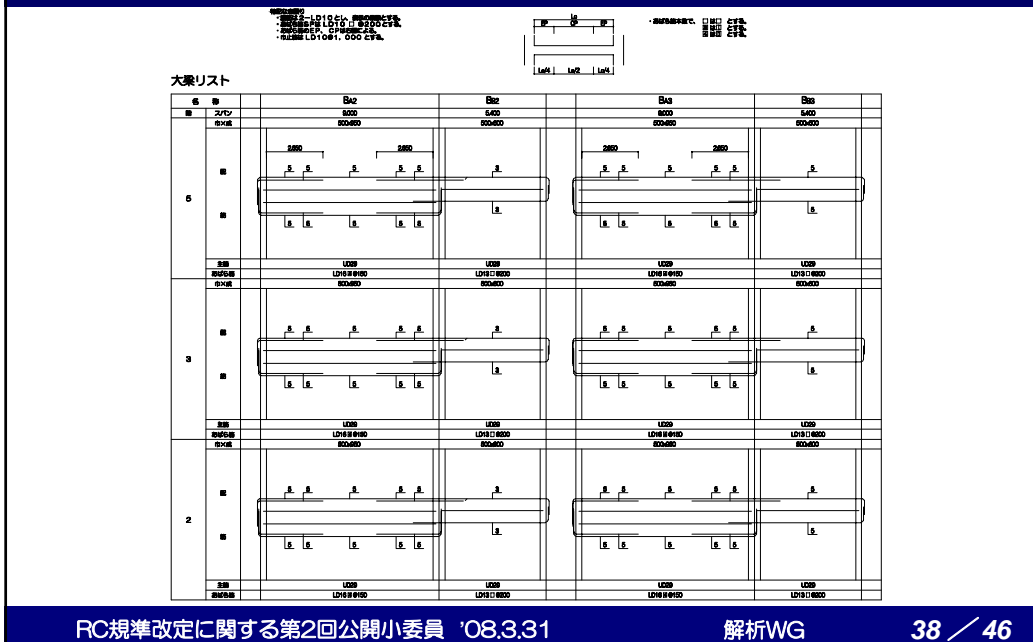
計算例： 代表断面リスト（柱・壁）



計算例： 代表断面リスト（X方向大梁）



計算例： 代表断面リスト（Y方向大梁）



8条の改定

現行8条

8条 構造解析の基本事項

1. 応力と変形の算定

- (1) 弾性剛性と剛性低下
- (2) ヤング係数
- (3) 断面積、断面2次モーメント、T形断面
- (4) 考慮する変形

2. 部材の接合部や材に接する部分などが応力、変形に及ぼす影響

8条の改定

改定案8条

8条 構造解析の基本事項

1. 応力と変形の算定
 - (1) 弾性剛性と剛性低下
 - (2) ヤング係数
2. 柱・梁の剛性評価
 - (1) 断面積、断面2次モーメント
 - (2) T形断面
 - (3) 考慮する変形
 - (4) ひび割れによる剛性低下
3. 壁の剛性評価
 - (1) 開口のある耐震壁
 - (2) ひび割れによる剛性低下
 - i) ひび割れによるせん断剛性の低下
 - ii) ひび割れによる曲げ剛性の低下
 - (3) 高強度材料を用いた場合の耐震壁の剛性
 - (4) 構造解析の目的に応じた耐震壁の剛性の設定

9条の改定

現行10条

- 10条 梁、柱および耐震壁
 1. 受ける荷重の範囲
 2. 柱荷重
 3. 積載荷重
 4. 小梁のモーメント
 5. 鉛直荷重を受けるラーメンの解析
 - (1) 柱の部材角を無視する
 - (2) 曲げモーメントは隣接する材まで
 - (3) 梁のせん断力は単純梁として
 6. 水平力を受ける有壁ラーメンおよび無壁ラーメンの解析
 - (1) 直交2方向に別々に作用する
 - (2) 水平力は床位置に集中する
 - (3) 剛床仮定
 7. 水平力に対する床のねじれ回転の影響
 8. 水平力に対する耐震壁の剛性評価
 - (1) 耐震壁の基礎回転
 - (2) 無壁ラーメン部分の地震力分担
 - (3) 開口のある耐震壁
 - (4) せん断剛性の低下
 - (5) 高強度材料を用いた場合の耐震壁の剛性
 - (6) 構造解析の目的に対応した耐震壁の剛性低下率の設定

9条の改定

(9条と10条入れ換え)

9条 骨組の解析

1. 受ける荷重の範囲
2. 柱荷重
3. 積載荷重
4. 小梁のモーメント
5. 架構のモデル化
 - (1) 柱・梁のモデル化
 - i) 剛域の考慮
 - ii) 接合部の考慮
 - iii) 特殊な架構
 - (2) 耐震壁のモデル化
 - i) **耐震壁要素のモデル化**
 - ii) 基礎支点のモデル化
6. 地震力を受ける架構の解析
 - (1) 直交2方向に別々に作用する
 - (2) 水平力は床位置に集中する
 - (3) 剛床仮定
 - (4) 床のねじれ回転の影響
 - (5) 直交効果の考慮
 - (6) 地震時鉛直力の考慮
 - (7) P-Δの効果
7. 部材の力と変形関係を適切に評価した増分解析

9条 骨組の解析

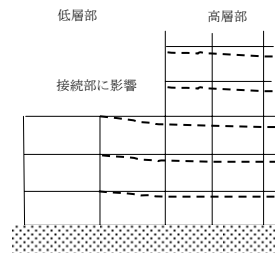
5. 架構のモデル化
 - (1) 柱・梁のモデル化

iii) 特殊な架構では発生する応力・変形を考え、ふさわしいモデルを考慮する

iii) 特殊な架構に対する考慮

常時荷重時には通常の場合は軸変形を考慮することは少ない(8条2-1-1.3参照)。しかし、高層建物等で軸剛性の異なる柱が並存する場合には、施工の段階で徐々に軸変形が増加し、柱間に軸変形の差が現れ、取り付く梁や床に比較的大きな部材角が発生する恐れがある。

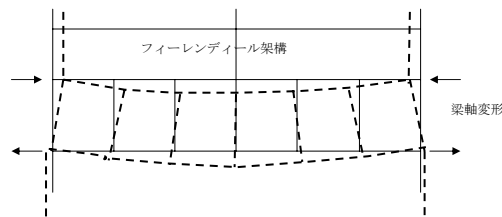
特に高層部に低層部等が取り付く場合には、高層部の柱の軸変形が施工につれて進み、**低層部との接続部の床、梁に支障を生じる可能性がある**。この軸変形には勿論クリープ変形量を含んで考える必要がある。このような恐れがある場合には施工段階を考えた解析が必要であり、施工時に変形を考えた柱長さとする、あるいは後打ち帯を設けて低層部との連結の施工時期をずらすなどの対策が考えられる。



9条 骨組の解析

柱抜けなどにより階に渡ってトラス架構やフィレンティール架構が形成される場合は上下弦材となる梁に軸力が生じる。

この場合に、通常のように剛床が仮定された解析を行っているとならば梁の軸剛性を過大に想定し、鉛直変形を過小に評価してしまう。また断面設計においても軸力を考慮しないため危険側となる場合がある。この場合には剛床条件をはずし、有効範囲を適切に判断した梁の軸剛性を評価し、変形量を求めると同時に断面設計にも考慮する必要がある。



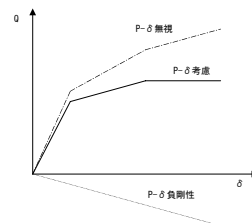
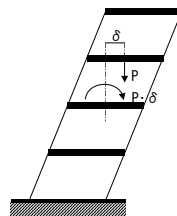
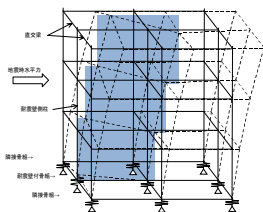
(b) 梁の軸変形

9条 骨組の解析

6. 地震力を受ける架構の解析

地震力を受けるラーメンおよび耐震壁から構成される骨組の解析にあたっては、下記によることができる。

- (5) 柱の鉛直変位による**直交梁・直交壁の影響**が無視できない場合には、その影響を適切に考慮する。
- (6) 片持ちのバルコニー等の建物外壁から突出する部分については、地震時鉛直力の影響を適切に考慮する。
- (7) 軸力や水平変位が大きい場合は**P- Δ 効果の影響**を適切に考慮する。



ありがとうございました