

プレストレスト コンクリート造多層建物の耐震設計

—木更津信用金庫本店の場合—

矢 野 克 巳*
水 津 秀 夫**

はじめに

プレストレスト コンクリートの構造物は、すでに日本にも多数建設されているが、木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造などの他の構造形式のものと比較すれば、その歴史は浅い。諸外国に比べて地震の発生率が高い日本では、木造の建家が主流を占めてきたが、近代になって、急速に多種、多様な構造材料の使用がなされてきた。しかしながら、それらの性能が、理論と経験により完全に追求しおえているとはいえない。とくに、地震の多い日本においてさえも、これらの構造材料が十分に地震の経験を経ていることが最も問題とされることであろう。人間の一生より長い長い活動をしている地球のストレスの発散による地震は、聡明な人間にとっても、それを正確に把握することはきわめて困難な現象である。自然への順応性とぼしい動物である人間が、他の生物を支配してこの地球で繁栄しているのは、四季の変化や毎年吹く季節風のようにかならずくり返してやってくる災害に対して、その知恵（記憶力、創造力）によって防ぎうるからであろう。しかし地震の発生は、人間にとって、その生涯に比べて再現期間が長すぎるため充分にその知恵を発揮できない恐れがある。『災害は忘れた頃にくる』ので、さすがの人間も時間のたちすぎたものに対しては用心をおこたってしまう。人間の生命と財産を守るべき使命をもつ建築物は、その『忘れた頃にくる災害』に対して充分安全に設計されていなくてはならない。そのためには、理論的追跡もさることながら、経験した現象を正確に理解することがきわめて重要なことである。困ることに、日本におけるプレストレスト コンクリートは、まだ充分な地震の経験を経ている。プレストレスト コンクリート造の建物ばかりでなく、現在の日本の建築界の流行を占めている超高層ビル、プレファブ高層住宅、高層マンション、高架道路等、ともかく、戦後急速に建設されはじめた建造物は、いずれも安全性の検討の基本

となるべき『経験』を経ている。しかし、設計者としては、未経験のものに対して、できるだけ先人の残してくれた知識をもとに、新しい技術を駆使しながら、ひとつひとつ各人の判断のもとで設計していかなくてはならない。著者らは、大きな地震の経験のない構造材を使用する場合は、できるだけ詳細に地震に対する安全性を検討しなければならないと考えている。このような考え方もとづいて、地上6階建（高さ28.4 m）の地方銀行本店の設計を行なったものを、その設計方法が確立されているとはいいたい、プレストレスト コンクリート部材を使用した多層の建物の設計方法の一例として報告する。

1. 建物概要

この建物は千葉県木更津市に銀行建物として計画された地下1階、地上6階の現場打ちプレストレスト コンクリートを使用した建物である。営業室部分の平面計画を良くするため、内部に柱のない、1スパン構造としてある。

建 物 名 称：木更津信用金庫本店
所 在 地：千葉県木更津市木更津 337
建 築 主：木更津信用金庫
設 計 監 理：日建設計東京事務所
施 工：大成建設（株）
建 築 面 積：810 m²
延 床 面 積：4 637 m²
基 準 階 床 面 積：583 m²
階 数：地下1階、地上6階（一部7階）
最 高 部 高 さ：GL+28.4 m
基 礎 底 深 さ：GL-7.5 m
基 準 階 高 さ：3.75 m
各 階 用 途：R階 機械室
6階 ホール
5階 食堂・医務室
4階 役員室・会議室
3階 コンピューター室
2階 事務室

* 株式会社日建設計 構造部長
** " 構造部主任

1階 営業室
地階 機械室等

2. 地盤概要

第3紀層の土丹層が GL-18m ほどにあり、その上に砂層がのっている。この砂層の GL-15m 付近に層厚 2m ほどの粘土層がはさまれている。砂層の深度 5m までは N 値が小さく、2~10 であるが、それ以深は N

値が 50 以上を示しており、十分に信頼できる支持層と考えられる。また、砂層の間にはさまれる粘土層の N 値も大きく、層厚も薄いため圧密沈下の問題もない地層である。地盤構成を 図-1 に示す。

3. 構造計画

地上2階床よりR階まで、スパン 18.2m の部分に現場打ちプレストレスト コンクリートばりを採用し、

図-1 地盤構成図

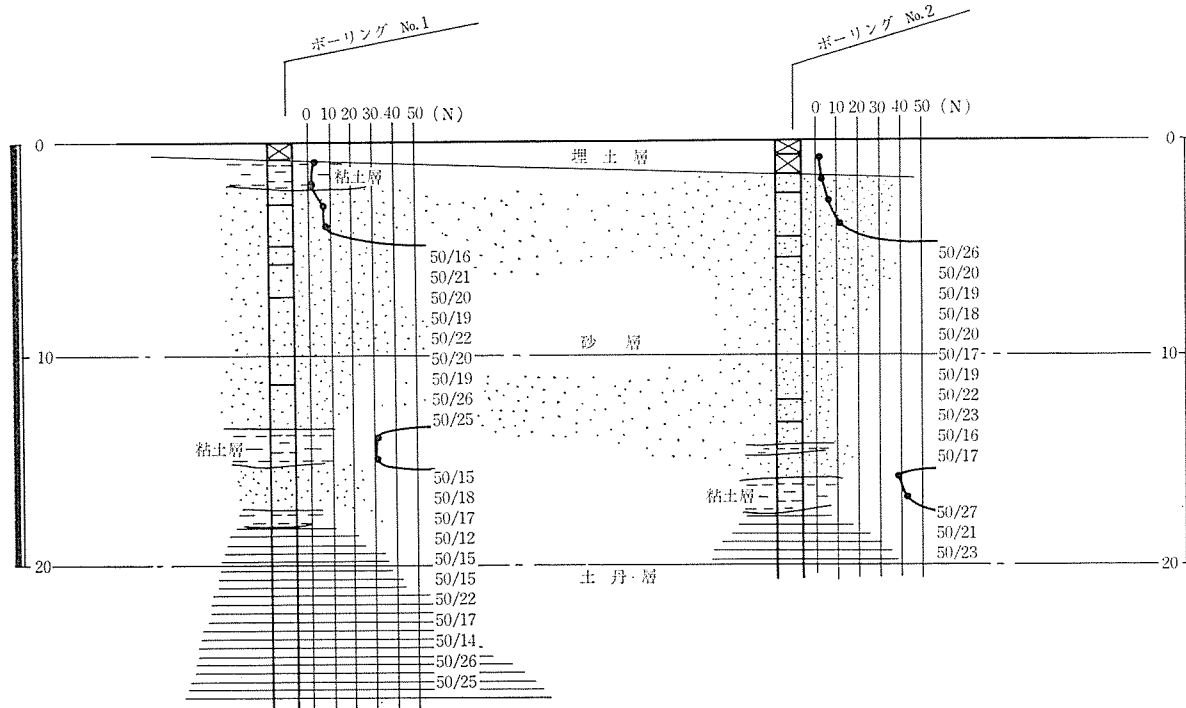


図-2 1階はり伏図

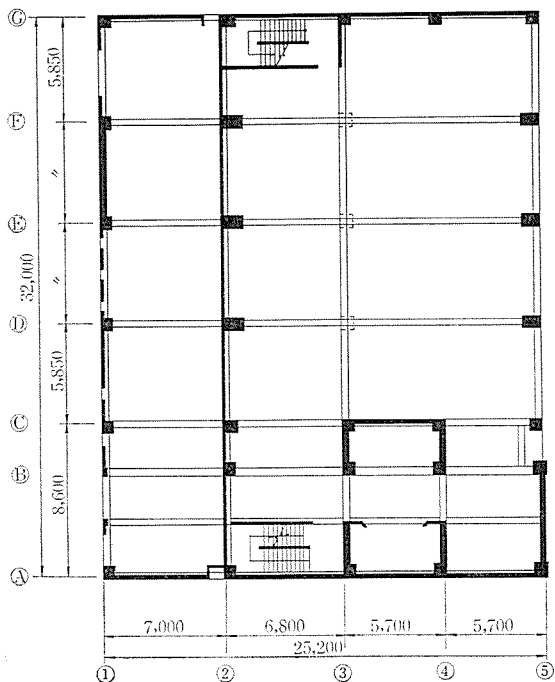
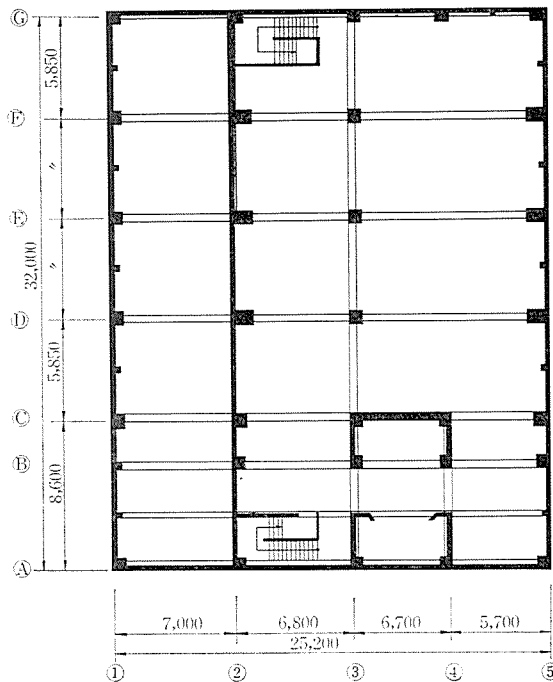


図-3 地階はり伏図



その他の構造部材はすべて鉄筋コンクリートとした、伏図および軸組図を折込付図 および 図-2.3 に示す。地下部分は地上部を支えるに足るだけの剛性と強度を有する強固なものとし、十分に支持力をもつ地盤に直接支持せしめた。地上部分は、事務室部分とコア一部分とで構成されており、壁の多いコア側とつり合いをとるため、その反対の面には、有効な面内ラーメンを有する耐震壁を設けた。基準階における耐震壁の配置は折込付図のようにしたため、建物としての平面的なバランスはととのっており、かつ、ねじれ剛性のきわめて高い構造計画となっている。

スパン 18.2 m の大ばりは、プレストレスト コンクリートばりとしては標準的なスパンであり、鉛直荷重に対しては、きわめて容易に安全性が確保できる。1 スパンのプレストレスト コンクリート架構と周辺の耐震壁が協力しあい、全体架構として、十分な耐震性を発揮できるように構造計画を行なっている。

4. 耐震設計

プレストレスを導入することによる鉛直荷重に対する部材性能の向上は非常に大きい。しかしながら、プレストレスト コンクリート部材を使用した建物の耐震性能を論ずる場合には架構としての降伏から破壊までのじん性エネルギー吸収、破壊直前の剛性等において、鉛直荷重に対する部材性能の良さと同様に考えるわけにはいかない。もちろん、鉄筋コンクリート構造と同等以上の性能は期待しうるが、鉛直荷重時の性能の違いほどは期待し得ない。したがって、本建物の設計には、耐震性に対して経験のある鉄筋コンクリートの耐震壁を用いた。

(1) 基本方針

プレストレスト コンクリート架構の組み込まれているスパン方向の設計は、地震応答解析による架構変形より、部材応力を決定し、断面設計を行なう。

桁行方向の鉄筋コンクリート架構は、建築基準法にもとづく震度法で設計する。

すなわち、プレストレスト コンクリート架構の剛性低下、破壊時のじん性の不足、エネルギー吸収の不足、減衰効果の不足などについては、鉄筋コンクリートの耐震壁に期待しているため、プレストレスト コンクリート架構と鉄筋コンクリート耐震壁架構とを連成した形で地震応答解析を行なって変形量を求め、その変形に対してプレストレスト コンクリート架構が安全であるように設計した。設計の手順を図示したものが 図-4 である。

(2) 地震応答解析

プレストレスト コンクリートを使用しているスパン方向についてのみ表-1 に示すように9種類の地震応答

図-4 設計の手順

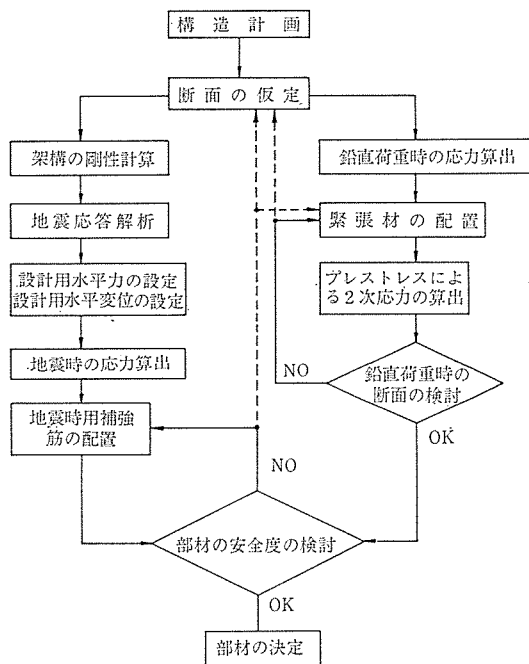


表-1 地震応答解析

解析番号	振動モデル	入力地震波	最大加速度 (gal)	耐震壁の剛性	減衰定数 (%)	降伏せん断力の設定法
No. 1	6質点 せん断型 振動モデル 1 F.L.固定	El. Centro 1940 NS HACHINOHE 1968 NS TOKYO 116-2 1968 NS	100	弾性	5	—
No. 2						
No. 3						
No. 4	各階床位置 に質点 (No. 1~ No. 9)	El. Centro 1940 NS HACHINOHE 1968 NS TOKYO 116-2 1968 NS	250	弾塑性	5	1*
No. 5						
No. 6						
No. 7	El. Centro 1940 NS	250	弾塑性	3	7	2*
No. 8						
No. 9						

1*: 1層の耐震壁にせん断されつが生ずるせん断力を1層の耐震壁の降伏せん断力とし、2~6層の耐震壁の降伏せん断力は、弾性の地震応答解析結果のせん断力分布に比例させて設定しているもの。

2*: 各層の耐震壁にせん断されつが生ずるせん断力を各層の耐震壁の降伏せん断力としたもの。

解析を行なっている。振動モデルのせん断ばねの剛性は、各ラーメン架構、独立耐震壁架構、有壁ラーメン架構をそれぞれ別々に考え、最上層に単位外力を与えたときの応力と変形より水平剛性を求め、それらを加え合わせて求めている。なお、壁の剛性計算に使用したコンクリートのせん断剛性の β は、弾性範囲では $\beta=0.3$ とした。

弾塑性解析は、耐震壁の剛性のみを、降伏後、弾性剛性の $1/5$ としたものである。ラーメン架構は常に弾性であるものとしている。1層の耐震壁の降伏せん断力は、せん断されつが発生する応力度を、 $\tau_{cr}=E_c/12$ とし、せん断されつが発生するせん断力とした。2層以上の耐

報 告

震壁の降伏せん断力に関しては、1層の降伏せん断力を基準にして、弾性の地震応答解析の結果のせん断力分布に比例させて設定したものと、各層の耐震壁のきれつ発生時のせん断力より設定したものと2種類がある。

地震応答解析の結果を、図-5~8 および表-2 に示す。弾塑性地震応答解析 No. 4~No. 6 の結果より、設計用水平力および設計用水平変位を定めた。解析 No.

図-5 弾性応答 (100 gal) 結果
(層せん断力・震度)

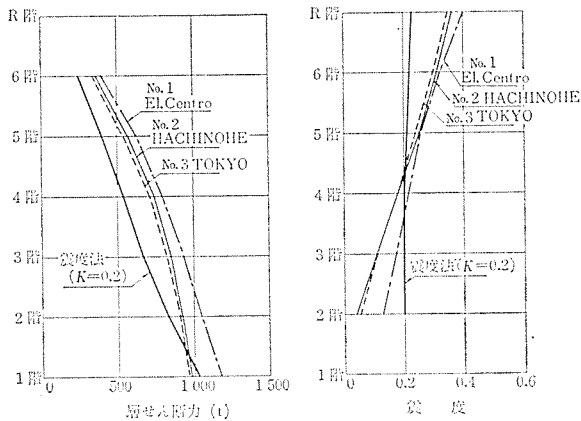


図-6 弾性応答 (100 gal) 結果
(層間変位・せん断力係数)

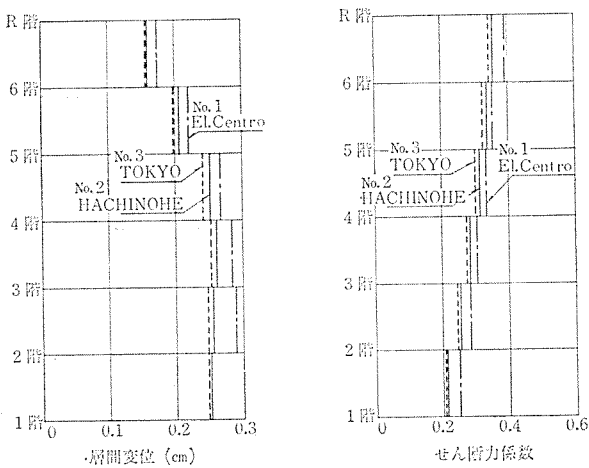


図-7 弾塑性 (250 gal) 応答結果
(層せん断力・震度)

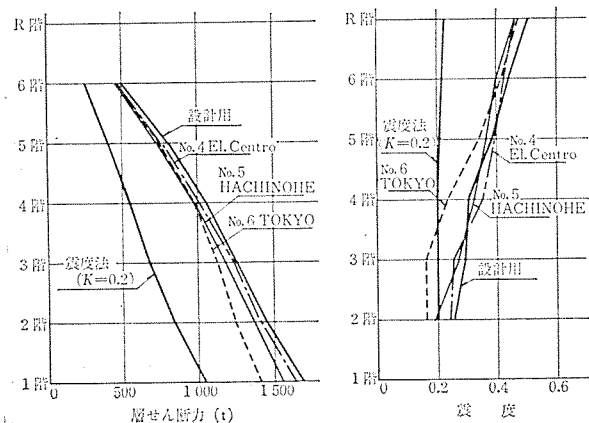


図-8 弾塑性応答 (250 gal) 結果
(層間変位・せん断力係数)

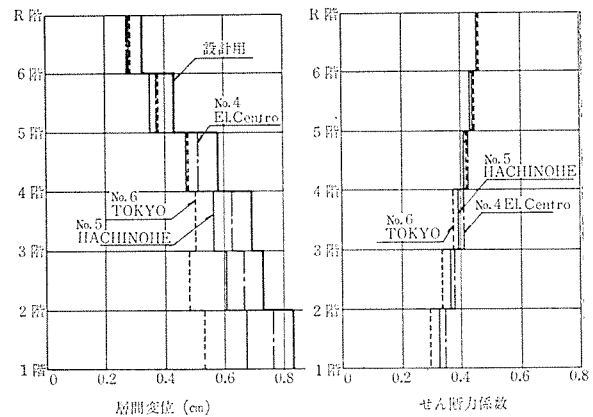


表-2 応答解析結果

解析番号	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	設計用
1層							
最大層せん断力 (t)	1620	1520	1370	1860	1750	1710	1700
最大層間変位 (cm)	0.77	0.68	0.53	1.02	0.91	0.87	0.85
2層							
最大層せん断力 (t)	1380	1330	1220	1600	1520	1450	1450
最大層間変位 (cm)	0.66	0.61	0.48	0.83	0.75	0.68	0.73
3層							
最大層せん断力 (t)	1200	1150	1100	1360	1320	1300	1250
最大層間変位 (cm)	0.63	0.57	0.51	0.58	0.54	0.52	0.69
4層							
最大層せん断力 (t)	1000	960	960	1160	1120	1110	1050
最大層間変位 (cm)	0.52	0.48	0.48	0.40	0.38	0.37	0.58
5層							
最大層せん断力 (t)	750	740	750	1040	970	930	800
最大層間変位 (cm)	0.37	0.35	0.37	0.37	0.35	0.34	0.43
6層							
最大層せん断力 (t)	460	460	460	710	660	630	500
最大層間変位 (cm)	0.28	0.28	0.28	0.31	0.29	0.28	0.33

固有周期 $T_1=0.403$ 秒 $T_2=0.146$ 秒 $T_3=0.093$ 秒

7~No. 9 は、設計用水平変位のチェックに使用した。

図-5 にあるように、100 ガル時の弾性応答で、すでに震度 0.2 として求めた層せん断力を越えている。したがって、通常の設計では地震時の骨組の性状をすべて弾性域にとどめようとするのは不可能であることがわかる。このことより、この種の建物の耐震性能を検討するには弾塑性応答の性状を把握しなくてはならない。しかしながら応答解析を行なうための建物のモデル化に際して、弾塑性時の復元力の特性的設定を適確に行なうことは、きわめて困難なことである。

表-2 の No. 4 と No. 8 とは、降伏点の設定を変えて EL-CENTRO 波で応答解析を行なったものであるが、最大層間変位は、下層部である程度差があるが、上層部では、その差はあまりみられない。このことより、弾塑性時の応答は、変位を問題として考えている設計方法の場合には、工学的には正しいものとして良いと判断される。

なお、弾塑性応答には最大加速度 250 ガルの地動を用いているが、最近の超高層の設計においても、純鉄骨造の場合をのぞき一般的に用いられているものであり、当建物の地盤性状が、きわめて良いことから設計条件とし

表-3 プレストレスト コンクリートばりの存在応力と許容応力

	8		6		5		4		3		2		
	端 部	中 央	端 部	中 央	端 部	中 央	端 部	中 央	端 部	中 央	端 部	中 央	
Ⓐ D.L.+L.L.	-117.0	+ 64.5	-124.0	+ 59.5	-123.0	+ 60.5	-100.0	+ 53.6	-110.0	+ 78.0	-105.0	+ 52.8	
Ⓑ 2 次 応 力	+ 78.3	+ 78.3	+ 85.3	85.3	+ 84.7	+ 84.7	+ 84.2	+ 84.2	+ 84.5	84.5	+ 64.3	+ 83.5	
Ⓒ 地 震 力	9.6		28.0		38.7		68.4		54.0		68.3		
設計時	Ⓐ+Ⓑ	- 38.7	142.8	- 38.7	144.8	- 38.3	145.2	- 15.8	137.8	- 25.5	142.5	- 20.7	136.3
	許容モーメント	89.6	168.5	89.6	168.5	89.6	168.5	89.6	168.5	89.6	168.5	89.6	118.5
ひびわ	1.3×Ⓐ+Ⓑ	- 73.8	162.2	- 75.9	162.7	- 75.2	163.4	- 45.8	153.9	- 58.5	159.9	- 52.3	152.1
	許容モーメント	139.4	198.9	139.4	198.9	139.4	198.9	139.4	198.9	139.4	198.9	139.4	198.7
破壊時	2.0×Ⓐ+Ⓑ	155.7	207.3	-162.7	204.3	-161.3	205.7	-115.8	191.4	-135.5	200.5	-125.7	187.1
	1.2×Ⓐ+Ⓑ+1.5Ⓒ	- 76.5		-105.5		-121.0		-108.4		-128.5		-144.4	
	1.0Ⓐ+Ⓑ-1.5Ⓒ	- 24.3		3.3		19.8		56.8		55.5		81.7	
	抵抗モーメント	233.0	346.5	233.0	346.5	233.0	346.5	233.0	346.5	233.0	346.5	233.0	346.5

使用材料 コンクリート プレストレスト導入部材 $F_c=350 \text{ kg/cm}^2$
 一般部材 $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$
 鋼材 PC 鋼線 (JIS), SD 35, SR 24

て、この値を設定した。

(3) 設計用水平力および水平変位の設定

弾塑性地震応答解析 No. 4~No. 6 の結果より、設計用水平力を図-7 のように設定した。層せん断力と層間変位の関係は図-9 に示す。この復元力特性は応答解析の No. 4~No. 6 に使用したものである。この設計用水平変位は表-2 にあるように、耐震壁の降伏せん断力を変えても、ほとんどの応答値よりも安全側に設定されている。

地震時の応力算出にあたっては、それぞれの架構の剛性に応じて、水平変位より次のようにして求めた (図-10 を参照)。

図-9 設計用せん断力と層間変位

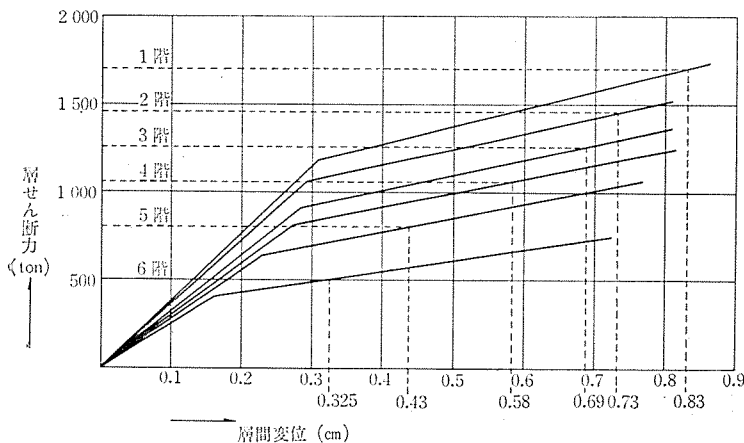
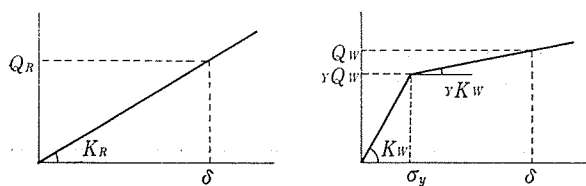


図-10



$$Q_R = K_R \times \delta$$

$$Q_W = \gamma Q_W + \gamma K_W \times (\delta - \gamma \delta), (\gamma \delta \leq \delta \text{ の場合})$$

$$Q_W = K_W \times \delta, (\gamma \delta > \delta \text{ の場合})$$

Q_F : ラーメンの層せん断力

Q_W : 耐震壁の層せん断力

δ : 設計用層間変位

$\gamma \delta$: 耐震壁の降伏時の層間変位

K_R : ラーメンの剛性

K_W : 耐震壁の降伏前の剛性

γK_W : 耐震壁の降伏後の剛性

(4) 部材の安全性の検討

プレストレスト コンクリートばりの設計は、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・プレストレスト コンクリート 設計施工規準にもとづいて行なっている。全体架構として耐震壁が多いため変形も少なく、プレストレスト コンクリートばりには、地震時でも、ひびわれの発生がないという非常に健全な架構となっている。設計用水平変位が生じたとき、耐震壁のせん断応力度は降伏せん断力の設定法にかかわらず、 $F_c/8$ 以下となっており、耐震壁が柱とはりにより拘束されていることを考えれば十分安全であると考えられる。プレストレスト コンクリートばりの存在応力と許容応力をまとめたものを表-3 に示す。

5. 今後の問題

プレストレスト コンクリートによる多層建築物の設計の一例を紹介したが、このコンクリートと鋼の結びつけによって、それぞれでは発揮し得ない性能を作りあげる工法は、すぐれた先人の知恵が生みだしたものであ

報 告

り、それを正しい条件のもとで使用するのが、われわれ技術者の使命と思う。地震国として、誰れでもが知っている日本においてこの工法を用いるには、その工法の特徴を理解するばかりでなく、その建物の建設される環境の把握が必要と思われる。その環境とは社会状況、建設目的、資金、用途、時間等という、人間の作りだす条件と、地震、地盤、材料強度等のような自然が作りだす条件がある。建物の設計とはこれらの条件により、大部分がきめられてしまうのであるから、その条件と、プレストレスト コンクリートとの一致が常にあるわけでないし、たとえ一致したとしても、その設計方法が一定であるはずはない。プレストレスト コンクリートによる高

層建物は、現在、基準法でみとめられていないというのは、工学的な研究が未完成であるというのではなく、その法律により建物を設計し、建設する技術者の態度に問題があるためと思われる。定められた事項の遵守により、ものごとがすべて順調にすすんでゆくため、ただ単に、それを厳守することのみに努力するだけで、深い意図まで追求せずに処理してしまう怠けぐせを心配しているのであろうと理解したい。したがって、今後の問題は、技術者としての使命をもって、設定された環境のなかで適切な建築物をつくる姿勢にかかるのであろう。

1972.5.11・受付

コンクリート構造物

「設計施工国際指針」発刊のお知らせ

監 修 プレストレストコンクリート技術協会
日 本 コ ン ク リ ー ト 会 議
発行所 鹿 島 研 究 所 出 版 会

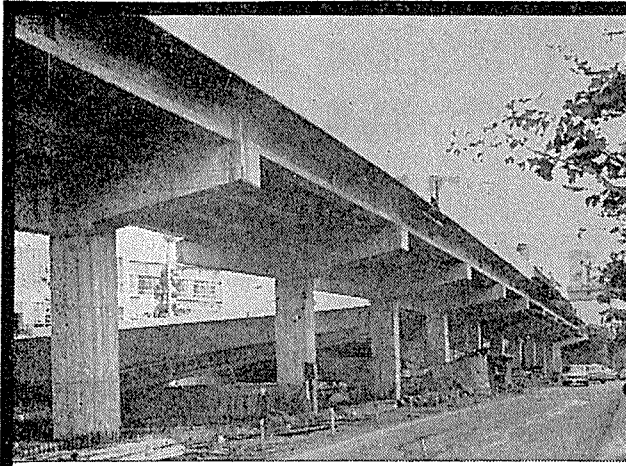
本書は第5回 FIP 国際会議（1966年パリ）でPC構造物の設計施工に関する国際指針が発表されたのち、さらに各種研究結果、実際の設計結果などを取り入れ、鉄筋コンクリートからプレストレストコンクリートに至るまでのあらゆるコンクリート構造物の設計、施工に関する指針として第6回 FIP 国際会議（1970年プラハ）で発表されたものを FIP の認可を得て翻訳出版したものであります。

本指針の基本は、統計的資料をもととし、確立論に立脚した限界状態設計法であります。このような概念は、現在、構造物の安全性を確保する場合のもととして、国際的に一般に認められているものであります。設計上有力な手段であることは論をまたないところであり、当協会の会員各位にとっては絶対必読の書であると確信しておすすめる次第であります。

定 価：1900 円 会員特価：1700 円（郵送料1冊につき150円）

ご希望の方は、代金および送料を添えて下記宛にお申込み下さい。

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会
〒104 東京都中央区銀座 2-12-4 銀鹿ビル
電話 (541) 3595
振替口座 東京 62774 番



首都高速度道路高架橋

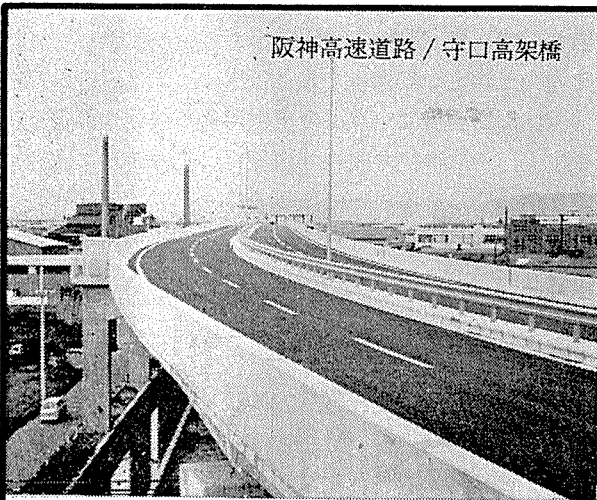
プレストレスト
コンクリート
建設工事 フレシナー工法
MDC工法

設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本社 愛知県豊田市トヨタ町6 電話 0565 (2) 1818(代)
 名古屋販売本部 名古屋市中村区笹島町1-221-2 電話 052 (581) 7501(代)
 東京販売本部 東京都港区西新橋2-16-1 電話 03 (436) 5461 ~ 3
全国タバコセンタービル2階
 工場 豊田第一工場、豊田第二工場、海老名工場



阪神高速道路/守口高架橋

プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工
 (BBRV・フレシナー・SEEE工法)
 製品の製造・販売
 (けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

ASCC 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社 (東京営業社)	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	☎ (03)918-6171
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	☎ (011)241-5121
大阪営業所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル西館)	☎ (06)361-0995
福岡営業所	福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)	☎ (092)75-3646
仙台事務所	仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)	☎ (022)25-4756
名古屋事務所	名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)	☎ (052)961-8780
広島事務所	広島市立町1番20号(広島長銀ビル)	☎ (0822)48-3185
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	☎ (01266)3-4305
幌別工場	北海道登別市千歳町130番地	☎ (01438)5-2221
幌川工場	静岡県掛川市富部	☎ (05372)2-7171
京都工場	京都市南区久世東土川町6	☎ (075)922-1181