

1. 浅沼型ラーメンプレキャスト構法 (A-RPC)の開発 (その1) 構法の概要と耐震設計

崎山 和隆	石原誠一郎	立松 和彦
恩村 定幸	内井 栄二	萩原 幸男 ^{*1}
西川 憲一 ^{*2}	小玉 道夫 ^{*3}	宮崎 真 ^{*4}

要 旨

当社では、12階程度までの鉄筋コンクリート造建物の品質向上と施工の省力化を図る工法として、プレキャストラーメン構法「A-RPC」の開発に取り組んできた。本年5月、本構法を採用した8階建集合住宅について、(財)日本建築センターのコンクリート構造評定委員会の技術審査を終了し、評価報告書を取得することができたので、当構法の概要と耐震設計の解析結果の一部を紹介する。

キーワード

RPC／プレキャスト／中空柱／SBR／スプライススリーブ／振動解析

目 次

- | | |
|---------|---------|
| 1. はじめに | 4. 施工概要 |
| 2. 設計概要 | 5. 耐震設計 |
| 3. 構法概要 | 6. あとがき |

1. DEVELOPMENT OF ASANUMA PRECAST REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURE SYSTEM(A-RPC) (Part1) Method concept and seismic design

Kazutaka Sakiyama	Seiichiro Ishihara	Kazuhiko Tatematsu
Sadayuki Onmura	Eiji Uchii	Yukio Hagiwara
Kenichi Nishikawa	Michio Kodama	Makoto Miyazaki

Abstract

ASANUMA CORPORATION has been involved in the development of the precast rigid-frame method as means of reducing energy expenditure during construction and improving the quality of reinforced concrete for buildings of 12 storys or so. This paper introduces the concept of the precast rigid-frame method and examines some of the seismic-design analysis results of an 8-story collective housing building which was constructed using the method. ASANUMA CORPORATION received an appraisal for the method from the Building Center of Japan's Construction Evaluation Committee.

^{*1} 東京本店設計部

^{*2} 東京本店開発営業部

^{*3} 東京本店建築部

^{*4} 東京本店プレハブ工場

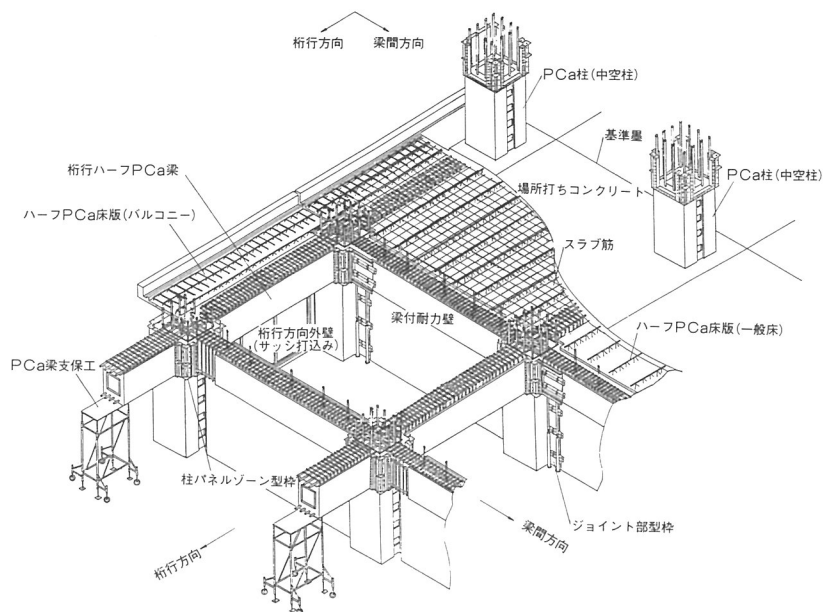


図-4 構法概要図

3.1 柱

柱は、主筋と帯筋を打込んだ中空口型のハーフPCa部材に、後打ちコンクリートを打込み一体化した合成柱である。柱主筋はスリーブ接合を行い、グラウト材を注入する。

柱部材はロ型で中空のため軽量であり、揚重設備に大きな制約もなく、梁主筋の定着が自由にでき、設計変更にも容易に対応ができる。

なお、補強効果をあげるため、帯筋には異形PC鋼棒ウルボンのスパイラル筋を用いている。

3.2 大梁

大梁は、スラブ部分を残してPCa化し、スラブ部分のコンクリートを後打ちして合成梁とするハーフPCa梁である。桁行方向の梁は複数スパンに亘る長尺のものであり、主筋は応力の小さなスパン中央で接合する。また、梁間方向の梁と梁成を同寸法にし、梁間方向の梁主筋間に桁行方向の梁主筋がくるように配筋して、桁行方向梁が多段主筋の場合に対処できるようにしている。

梁間方向の梁は耐震壁と一体で作製し、壁長の長さに応じて分割する。分割したPCa部材接合部の梁筋接合は、SBR工法等による溶接接合とする。

また、梁主筋の定着は上端・下端主筋共、柱の中空部へL形に定着する。

3.3 耐震壁

梁間方向の戸境壁は枠梁付きの連層耐震壁工法とし、耐震壁は梁と一体で作製する。耐震壁の水平接合部は直形ジョイントとし、柱と同様にグラウト注入によるスリーブ接合とする。柱と壁の鉛直接合部は、梁型内に接合筋を集中配筋し、壁部分にはシャーコッターだけを設けて接合する。ただし、外壁を兼用する耐震壁は、接合部のひび割れを防止するためにひび割れ防止筋を配置する。

通常、柱と壁の鉛直接合部には、シャーコッターの位置に多数の差筋を設け、作業所で添筋をしてフレアー溶接による接合を行っている。この作業には多くの労力と作業日数が必要な上に、フレアー溶接の品質管理の難しさと溶接熱によるコンクリートのひび割れの発生が懸念される。したがって、このような欠点を解消するために、接合筋を梁型内に集中配筋してコッター筋を無くしたことが本工法の大きな特長の一つにあげられる。

なお、部材間の鉛直接合部も、ループ筋を用いた重ね接合によるウェットジョイントとして作業の簡略化を図った。

3.4 外壁

桁行方向の外壁は非耐力壁とした帳壁構造である。く体への取付けは、上部を定着筋により固定させ、下

部はファスナーによるローラー接合とし、地震時にく体へ悪影響を与えないようにしている。く体の応力を負担していないので、開口隅角部等のひび割れの発生を防止している。

3.5 床・バルコニー

床はトラス筋を内蔵した型枠兼用のハーフPCa床板を使用し、後打ちコンクリートと合成スラブを形成する。

バルコニーは、排水溝、鼻先立上がりまでフルPCaとし、勾配床部分は床と同様にハーフPCa床板としている。上筋は作業所で配筋し、下筋のラーメン部材への定着はアンカー筋をPCa板に載せて定着長をのみ込ませる。

3.6 屋根

陸屋根の部分は床と同様にハーフPCa床板を使用するが、勾配屋根については軒先部分の施工に必要な仮設をなくし、コンクリート打設の作業の難しさを考えてフルPCa板とする。

4. 施工概要

4.1 施工順序

当工法における、く体工事の施工順序を図－5に示す。

4.2 施工計画

(1) 施工管理体制

施工管理は、作業所内に「A-RPC 施工・品質管理組織」を編成し、施工面および品質面について自主管理を行う。

(2) 工程計画

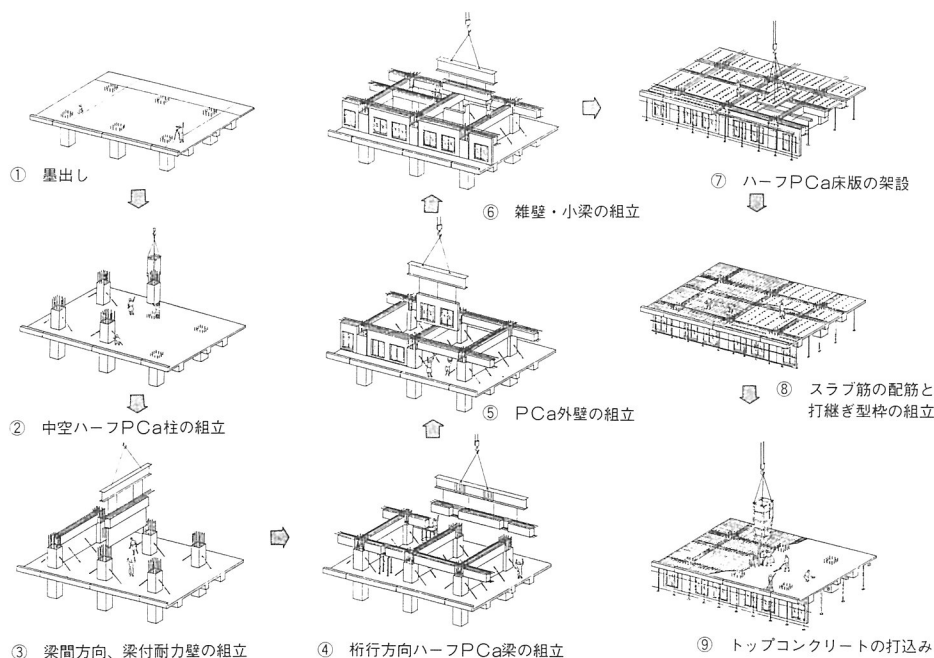
基準階における基本サイクル工程を5日間とし、休日および悪天候による作業不能日を加えて暦日サイクル工程を8日間とする。

基本サイクル工程表を図－6に、この基本サイクル工程をもとにしてたてた本建物の総合工程表を図－7に示す。

基礎工事に2.5箇月、地上く体工事に3箇月、仕上げ工事は最上階のコンクリート打設後2.5箇月とし、全体工期を8箇月としている。

(3) 仮設計画

総合仮設計画図を図－8に示す。主揚重設備としてクローラ型タワークレーン(100tf用)を1基、その他の揚重設備として人荷用エレベーター(HSL1200)を1基配置している。



図－5 施工順序図

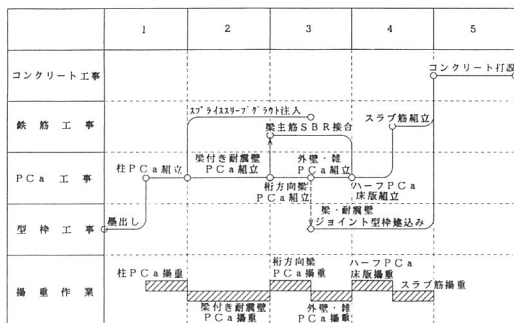


図-6 A-RPC サイクル工程表

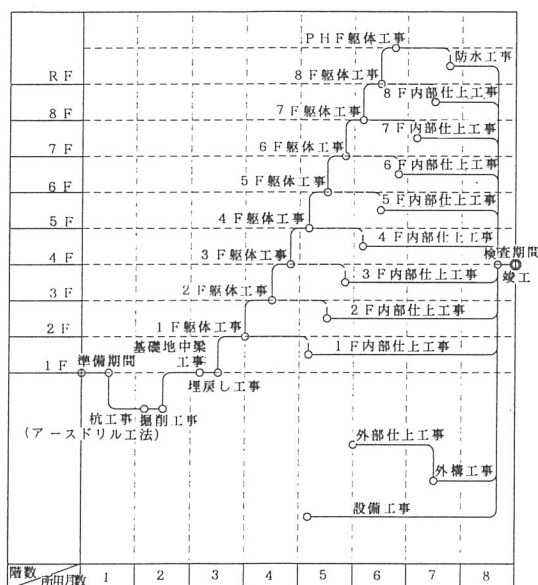


図-7 A-RPC 総合工程表

4.3 ハーフPCa柱の試作

異形PC鋼棒ウルボンのスパイラル筋を用いたハーフPCa柱の帯筋は、基本的に中子筋が入らないように設計時に径と間隔を勘案して対処したが、応力状態によっては日型、目型、田型等のせん断補強筋を設けた方が有利な場合もある。そのため、囲型配筋となった場合を考え、囲型配筋の中空白型のハーフPCa柱の試作を行い、製造上問題のないことを確認した。その際、中抜き型枠を独自に考案し、中空部の型枠脱型を容易に行え、同時に誤差なく製作できることも確認した（写真1～2）。

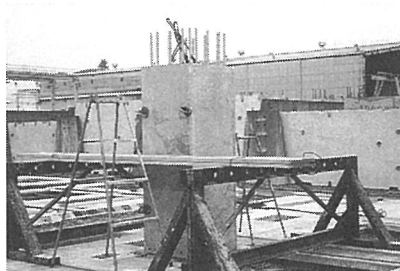


写真-1

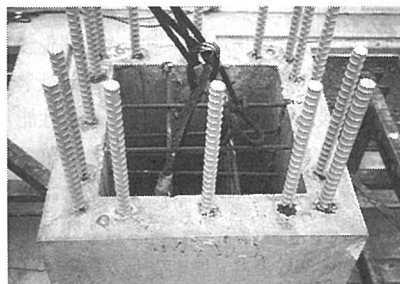


写真-2

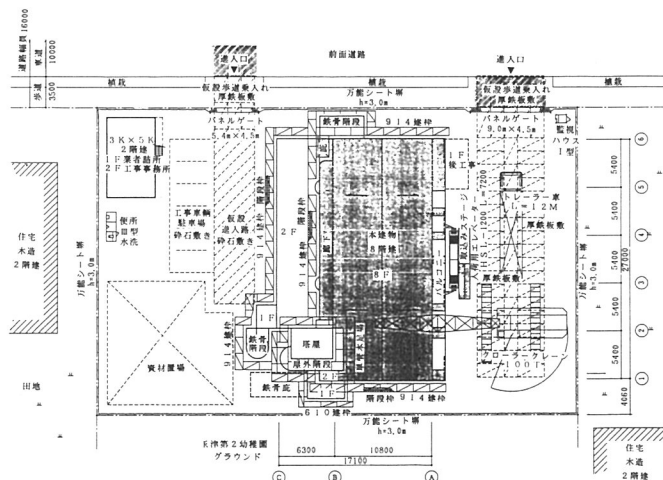


図-8 総合仮設計画図

試作に使用したコンクリートの調合計画表を表－１に、その性状を表－２に示す。

表－１ コンクリート調合表

設計基準強度 (kgf/cm ²)	調合強度 (kgf/cm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	S	G
270	331	48.3	42	165	342	768	1073

表－２ コンクリートの性状

スランプ (cm)	空気量 (%)	フロー (cm×cm)	温度 (℃)	4週強度 (kgf/cm ²)
11.5	1.1	21×21	36.0	356

5. 耐震設計

以下、設計概要、一次設計、二次設計および振動解析結果について概要を述べる。

5.1 設計概要

(1) 設計方針

a. 設計は、建築基準法、同施行令、関連告示および以下に示す指針等に準拠して行った。

- ・構造設計指針 (日本建築センター)
- ・鉄筋コンクリート構造計算標準・同解説
(以下「RC標準」と略す) (日本建築学会)
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能
(日本建築学会)

- ・プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工
(日本建築学会)

b. 桁行方向の崩壊型は、原則として各階梁端部および1階柱脚の曲げ降伏型とする。

c. 張間方向の崩壊型は、1階耐震壁のせん断降伏型とする。

d. 耐震安全性は、桁行方向について8質点の等価せん断型モデルに置換し、梁間方向については層の剛性を等価なせん断バネに置換した平面モデルとして地震応答解析を行った。

(2) 使用材料

a. 使用するコンクリートは普通コンクリートとし、上部構造のコンクリートの設計基準強度は、場所打ち部分およびPCa部材とも 270kgf/cm²とする。ただし、ハーフPCa床板については 350kgf/cm²とする。

b. 鉄筋は、JIS G 3112の規格に定めるSD295 A (呼び径D10～D16)、SD 345 (呼び径D19～D32)、およびJIS G 3109の規格に定めるSBPD130/145

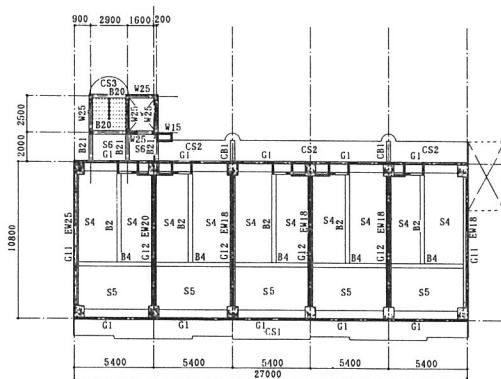
(ウルボン) とする。

c. 柱軸方向鉄筋および耐震壁水平接合筋の接合はNMBスプライススリーブ工法(BCJ-C1118)Xタイプを使用し、梁軸方向鉄筋の接合はSBR工法等による溶接接合とする。

(3) 建物の形状と部材断面

基準階の柱・梁伏図を図－9に、軸組図を図－10に示す。

また、主な階の部材断面および配筋を表－3および表－4に示す。



表－３ 主な階の柱断面寸法および配筋

階	断面 (cm)		軸 筋		帯 筋	引張鉄筋比 Pt (%)	せん断補強 筋比Pw(%)
	DX	DY	X	Y			
4	75	70	5-D32	2-D32+1-D29	2-u13@60	0.76	0.60
1	85	85	6-D32	2-D32+1-D29	2-u13@60	0.66	0.60

表－４ 主な階の梁断面寸法および配筋

方向	階	b×D (cm)	上端主筋	あばら筋	引張 鉄筋比 Pt(%)	せん断 補強筋比 Pw(%)
			下端主筋			
長辺 方向	5	55×75	8-D29	2-u13 @150	1.46	0.30
			7-D29			
	2	55×95	8-D29	2-u13 @200	1.11	0.23
			7-D29			
短辺 方向	5	35×75	4-D22	2-D10 @200	0.64	0.20
			4-D22			
	2	35×95	4-D29	2-D10 @200	0.87	0.20
			4-D29			

5.2 一次設計

部材の弾性剛性に立脚した応力解析および許容応力
度法による断面算定を行う。さらに、剛性率および偏
心率の検討を行う。

(1) 応力解析

架構と耐震壁の地震力分担率について、桁行方向は
すべて架構が負担し、梁間方向は1～2階で95%、3
階以上ではすべて耐震壁が分担するものとする。

(2) 断面算定

断面算定は「RC規準」に準拠して行う。ただし、
せん断力に対する算定は高周波熱練(株)「鉄筋コンクリ
ート造はり、柱のせん断補強としてPC鋼棒ウルボンを
使用する工法 設計指針」(BCJ-C1166)(以下
「ウルボン指針」と略す)に準拠して行う。

(3) 剛性率および偏心率の検討

剛性率については最小値が0.72となり問題はないが、
偏心率においては、エレベータシャフト、屋外階段が
突出していることの影響により重心がY方向に偏心し
ており、0.15を大きく上回った。そのときの剛性率お
よび偏心率を表－5に示す。

表－5 剛性率および偏心率

	長辺 (X) 方向		短辺 (Y) 方向	
	階	値	階	値
剛性率 (min)	4	0.720	8	0.776
偏心率 (max)	8	0.133	7	0.251

5.3 二次設計

部材の終局強度に基づき、保有水平耐力の検討およ
びじん性確保のための設計を行う。

(1) 保有水平耐力の検討

骨組に過大な変形が生じないように、十分な水平耐
力を確保する。

a) 解析の設定条件

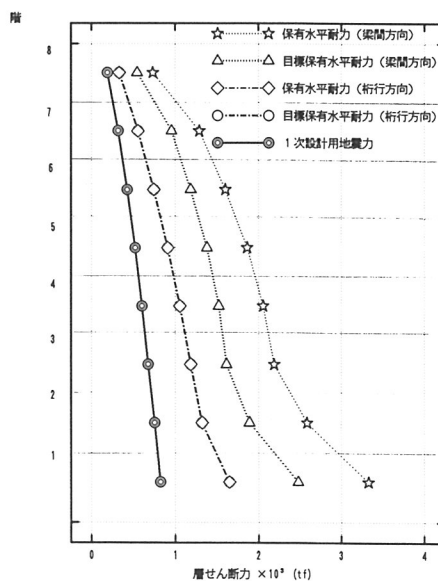
目標Ds値は、在来工法に安全率(0.05)を加えて
表－6に示す値とする。

表－6 目標Ds値

階	桁行方向	梁間方向
8～3	0.35	0.45
2	0.35	0.50
1	0.40	0.60

b) 必要保有水平耐力と保有水平耐力

地震力と必要保有耐力および保有水平耐力の関係を
図－11に示す。



図－11 各方向のQunとQu

c) じん性確保のための設計

イ. 柱、梁には下式を満足するように、せん断耐力の余力を確保する。

$$Q_{su} \geq Q_o + \alpha Q_{mu}$$

ここに、 Q_o ：長期荷重による単純梁としたときのせん断力。ただし、柱は $Q_o = 0$

Q_{mu} ：メカニズム時せん断力

α ：余裕率で、表-7による

表-7 余裕率 (α)

部 位	階	桁行方向	張間方向
柱	8～2	1.30	1.10
	1	1.20	1.10
梁	R～2	1.20	1.10

ロ. 柱、梁には下式を満足するように、付着割裂耐力の余力を確保する。

$$Q_b \geq Q_o + \alpha Q_{mu}$$

α ：余裕率 (柱、梁共 1.0)

5.4 振動解析

(1) 設定条件

入力地震波は、表-8に示す最大速度値50cm/secに相当する4種類の地震波とする。

表-8 入力地震波

No.	名 称	最大加速度 (gal)
1	ELCENTRO NS	511
2	TAFT EW	497
3	HACHINOHE NS	330
4	HACHINOHE EW	272

各層の復元力特性は、静的荷重増分解析により求めた層せん断力-層間変位曲線に基づき、3折線のスケルトンカーブを設定する。せん断変形成分の履歴則にはDegrading Tri-linear形モデル (Takedaモデル) を用いる。

減衰は1次振動に対して減衰定数 $h = 0.03$ とし、初期剛性に比例するものとする。

(2) 桁行方向の解析結果

a) 置換モデルは、最下階床位置を固定とした8質点の等価せん断型とする。

b) 荷重増分解析による層せん断力 (Q) と層間変位 (δ_i) の関係を図-12に示す。この場合、25ステップで圧縮側外端柱を除き、1階柱脚はすべて降伏し、2階梁から7階梁まですべて降伏している。

27ステップでは1階柱脚、および2階梁から7階梁は降伏ヒンジを形成する。

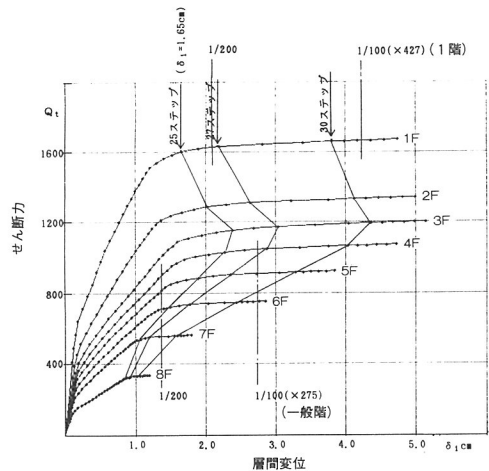


図-12 層せん断力と層間変位

c) 応答解析はニューマークの β 法による直接積分とし、 β の値は0.25とする。層間変位と塑性率の最大応答値の分布を図-13、図-14に示す。

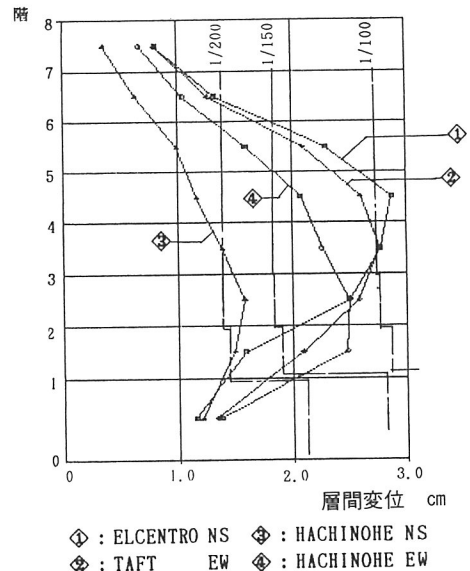


図-13 最大応答層間変位

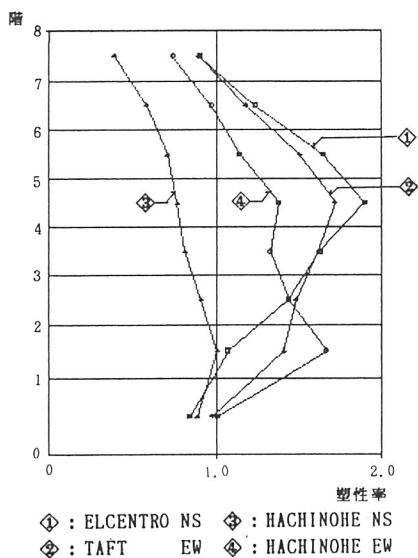


図-14 最大応答塑性率

d) 評価

イ. 荷重増分解析の結果から1階柱の目標曲げ降伏時変形角を $R=1/180$ ($\delta=1.65\text{cm}$) とすると、1階の $D_s=0.4$ に対して必要とされる層間変位塑性率は $\mu=3.6$ となる。したがって、1階柱脚および2階梁降伏のメカニズム時の柱部材の変形能と層間変形能を等価とすると、柱部材の限界変形角は $R=1/50$ となる(メカニズム時の1階柱軸力比は0.15および0.25)。なお構造実験により、軸力比0.35で $R=1/50$ 以上の変形能を有することを確認している。

ロ. 応答解析の結果、1階の層間変形角は $R=1/300$ 、塑性率は $\mu=1.0$ 程度以下である。

以上より、本建物は損傷の程度を許容範囲にとどめる剛性と耐力を有していると判断できる。

(3) 梁間方向の解析

a) 置換モデルは各階の剛性を等価なせん断バネに置換した平面モデルとする。なお、最下階床位置は固定とする。

b) 塑性特性を図-15に示すように組み合わせ、各組み合わせに対して4種の地震波を入力し、最大応答値を求めた。

c) 塑性特性の組み合わせの内、応答が最大値を示した $\alpha_y=1/4$ および $\beta=1/4$ の場合の応答値の分布を図-16および図-17に示す。

また、各組み合わせにおける最大応答せん断力と保有耐力およびせん断耐力の関係を図-18に示す。

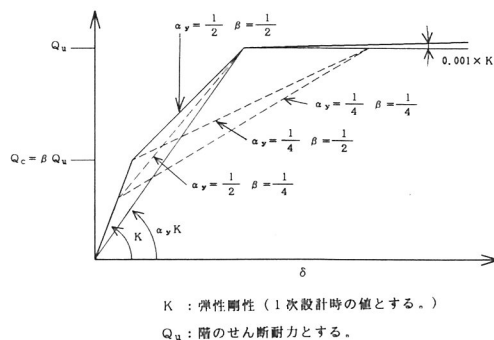


図-15 塑性特性の組合せ

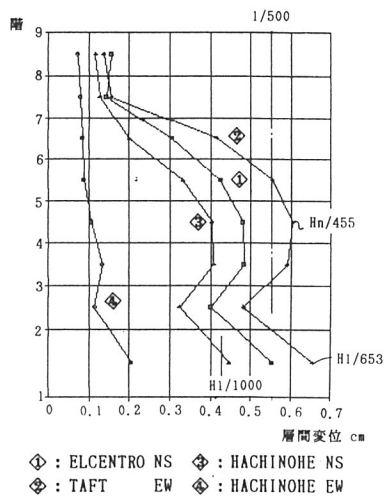


図-16 最大応答層間変位

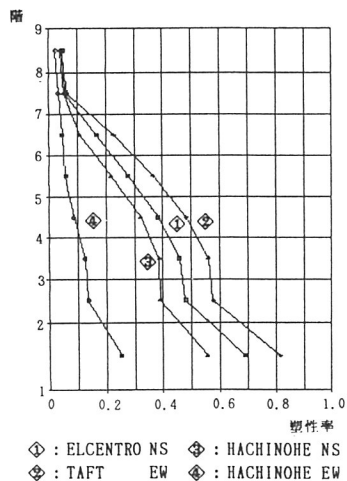


図-17 最大応答塑性率

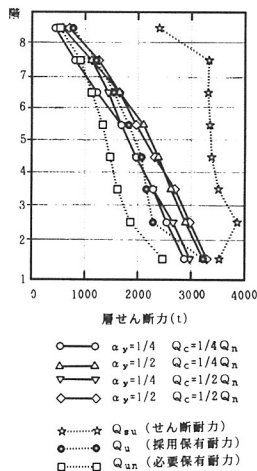


図-18 応答せん断力とせん断耐力

d) 評価

イ. 最大応答変形角は $\alpha_y=1/4$ 、 $\beta=1/4$ の時最大となり、一般階（4階）で $1/455$ 、1階で $1/653$ である。

一方、構造実験によれば、曲げ型試験体で $1/100$ 、せん断型試験体で $1/200$ 程度の変形能を有している。

ロ. 応答せん断力はせん断耐力まで達しない。

以上より、本建物は十分な耐震性能を有していると判断できる。

6. あとがき

本構法の適用により、く体工事にに関して現場作業は大幅に削減され、省力化される。また、く体工事のサイクル工程が短縮でき全体工期の短縮が図れるものと考えている。

R C造建物をPCa化することは、省力化・工期短縮について有効な工法であり、オールプレキャスト工法にこだわらず、在来工法との融合も考えながら、本構法の充実をなお一層図っていきたいと考えている。

なお、本構法は中高層R C造建物を対象に開発したものであるが、今後は超高層R C造建物や混合構造への展開も図っていきたいと考えている。

本構法の開発を行うにあたり、ご指導いただいた(株)高坂構造設計事務所の各位に心より感謝の意を表します。