

[2074] 並列耐震壁を有する鉄筋コンクリート構造物の応答性状

正会員 小野 新 (日本大学理工学部)
 正会員 安達 洋 (日本大学理工学部)
 正会員 中西 三和 (日本大学理工学部)
 正会員 ○川端 洋介 (群馬県庁)

1. 序論

鉄筋コンクリート造 (以後、RC造) 建築物の高層化に対する需要が高まるにつれて、高層RC造に関する研究が各方面で盛んに行なわれているが、その対象とされているのは大半が純ラーメン構造である。一方、RC造を高層化する上で耐震壁を有効な耐震要素とするためには、耐震壁の靱性をいかにして向上させるかが問題となろう。米国等では矩形断面を有する耐震壁が一般的であり、このような耐震壁はエネルギー吸収能の優れた曲げ型の履歴を示すことが報告されている。[1]本論では矩形断面を有する曲げ型耐震壁を対象とし、同様の壁で構成された並列耐震壁の弾塑性性状をまず静的加力実験により検討し、その結果から試験体の復元力特性をエネルギー的に等価でかつループ形状に類似性を持たせた、数学モデルの並列結合履歴として設定する。続いて同様の試験体で擬表.1 試験体概要

似動的実験を行ない、上述した数学モデルの妥当性の検証と並列耐震壁の応答性状について考察し、こうした形式の耐震壁を用いたRC造の高層化へ向けて、ひとつの可能性を探ることを目的とする。

2. 試験体概要

表.1に各試験体と変動因子との関係を示す。実験に用いた試験

体は、針金とモルタルを主材料としたもので、実物大の約1/30の縮尺である。3シリーズのうち静的加力実験は84,85シリーズの2シリーズであり、86シリーズは擬似動的実験である。84シリーズはつなぎ梁を変動因子とした基礎固定型の並列耐震壁2体 (S-84B, S-84S) である。85シリーズは基礎固定型の単体壁一体 (S-85W) と、つ

	84シリーズ		85シリーズ				86シリーズ		
	S-84B	S-84S	S-85W	S-R85B	S-R85S	S-R85BU	P-86B	P-R86B	P-R86BU
梁の破壊形式	曲げ梁	せん断梁	—	曲げ梁	せん断梁	曲げ梁	曲げ梁	曲げ梁	曲げ梁
地盤条件	—	—	—	剛床	剛床	硬質ゴム*)	—	剛床	硬質ゴム*)
支持条件	固定	固定	固定	水平方向のみ支持	水平方向のみ支持	水平方向のみ支持	固定	水平方向のみ支持	水平方向のみ支持

*)ウレタンゴムを使用した。

表.2 各部材の断面性能

	84シリーズ		85シリーズ		86シリーズ			
	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力	基礎固定型		基礎回転型	
	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力	曲げ耐力 (kg cm)	せん断 (kg)耐力
曲げ梁	1230	177.5	1156	191.3	1763	129.4	1763	133.9
せん断梁	2714	604.1	1706	166.3	—	—	—	—
基礎梁	—	—	2081	531.6	—	—	3173	408.8
耐震壁	27548	1301	33827	1443	35801	1284	41134	1201

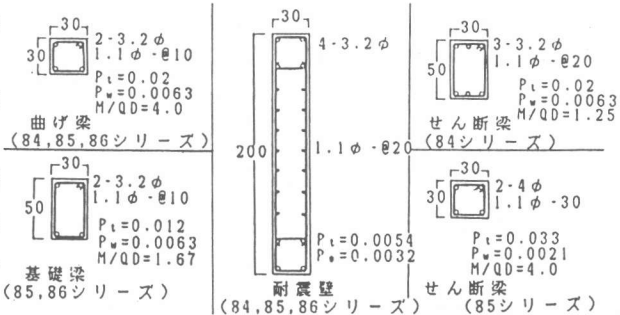


図.1 各部材の配筋詳細図

なぎ梁と地盤条件を変動因子とした基礎回転型の並列耐震壁3体(S-R85B, S-R85BU, S-R85S)である。S-R85BUは弾性地盤を想定し2cm厚の硬質ゴムを敷いたものである。86シリーズの3体の試験体(P-R86B, P-R86B, P-R86BU)は、静的実験で用いたS-84B, S-R85B, S-R85BUと形状、配筋等において同じ

ものである。表.2に各部材の断面性能を、図.1、図.2に各部材の配筋詳細図および各試験体の配筋図を示す。各梁の曲げ耐力はRC規準の略算式で、せん断耐力は大野・荒川式(平均式)によって算定した。耐震壁の耐力は文献[2]による。耐震壁、曲げ梁は全シリーズ同じ配筋であり、84, 85シリーズのせん断梁は断面形状、シアパン比等が異なる。使用材料の性質を表.3に示す。

3. 静的加力実験

図.3に加力装置を示す。基礎固定型

(84シリーズ)の試験体表.3 使用材料の性質(単位: kg/cm²)は基礎部分を固定梁にボルトで定着させ、基礎回転型の85シリーズでは図.4に示すストッパーによって水平方向のみ支持した。また、軸力は個々の壁に対して84シリーズでは0.6tを、85シリーズでは1.2tをスクリージャッキにより与えた。水平荷荷は油圧ジャッキを用い、定軸力のもとでの頂部繰り返し加力とした。実験の荷荷則を表.4に示す。

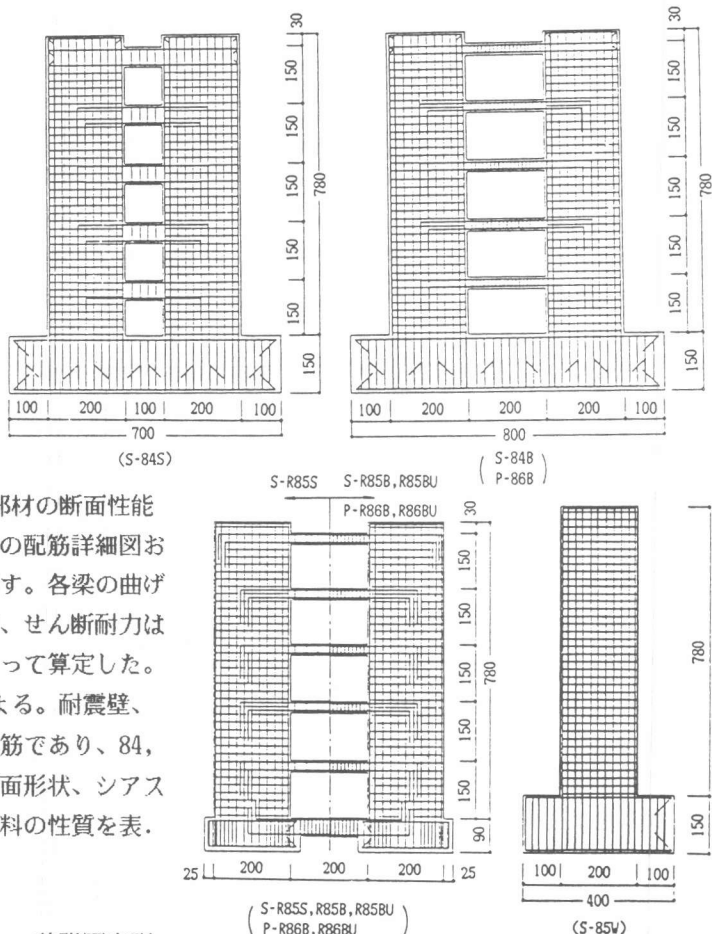


図.2 試験体配筋図

	モルタル	針金				硬質ゴム (ウレタン ゴム)
		4.0φ	3.2φ	2.6φ	1.1φ	
84シリーズ	346.5	—	3189	3372	3070	—
85シリーズ	376.5	3021	3195	—	3736	681.2
86シリーズ	基礎固定型	227.9	—	—	—	—
	基礎回転型	318.0	—	4870	—	1587

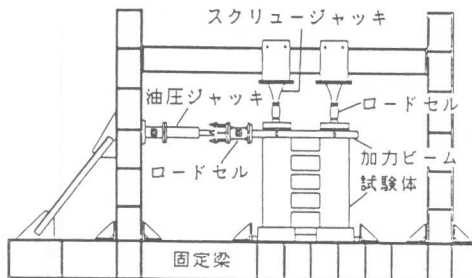


図.3 加力装置

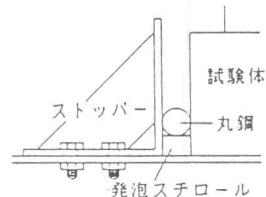


図.4 ストッパー詳細図

4. 実験結果及び考察

図.5-a)~f)は各試験体の荷重-水平変位曲線である。図.5-c)に示すように、矩形断面を有する単体壁はエネルギー吸収能の優れた紡錘型の履歴形状をもつ。又、84シリーズの各試験体の耐力は、S-84Bで単体壁の約3倍、S-84Sで約5倍と、つなぎ梁の性質が強度を大きく左右することが分かる。基礎回転型の85シリーズでは各試験体とも残留変形が小さく、ピンチ効果が顕著である。

図.6-a)~c)に各試験体の14サイクルでの固有ループを示す。図.6-b)より基礎固定型のS-84Bは膨らみのある曲げ型のループ形状を示すのに対し、基礎回転型のS-R85B、S-R85BUの履歴はS字型の履歴面積の小さなループ形状を示した。図.6-a)よりS-84Sにはスリップ現象が見受けられる。また、S-R85BとS-R85Sとは差が見られなかった(図.6-c))。

図.7-a), b)にサイクル毎の累積履歴面積を示す。基礎固定型のS-84Bは基礎回転型のS-R85B, S-R85BUに対して約2倍の値を有し(図.7-a)), またS-84Sにおいては耐力でS-84Bの約1.6倍もあるにもかかわらず、履歴面積ではさほど大きな差は見られなかった(図.7-b))。

5. 復元力モデルの設定

静的実験より得られた履歴曲線から、エネルギー的に等価なバイリニア型モデルを決定し、これとループ形状が一致するよう選択された他の数学モデルとを並列結合[3]することによって、試験体の復元力特性モデル

表.4 載荷則

部材角	1/1000	1/500	1/200	1/100	1/75	1/50	1/25	1/20
変位 (cm)	0.0735	0.147	0.368	0.735	0.98	1.47	2.94	3.68
サイクル番号	1	2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15	16 17 18	19

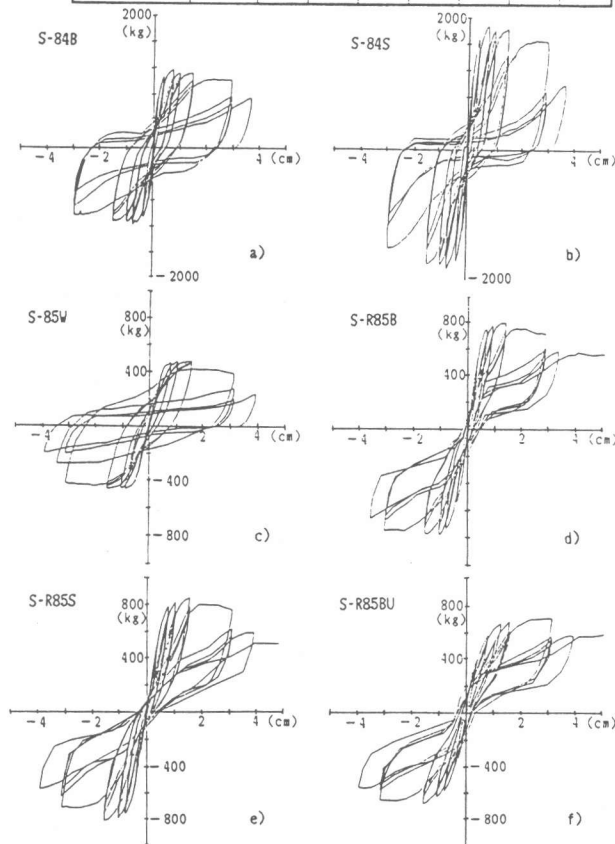


図.5 荷重-水平変位曲線

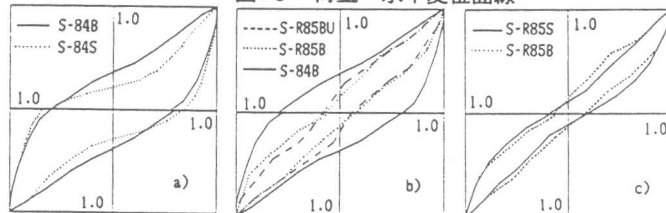


図.6 固有ループの比較

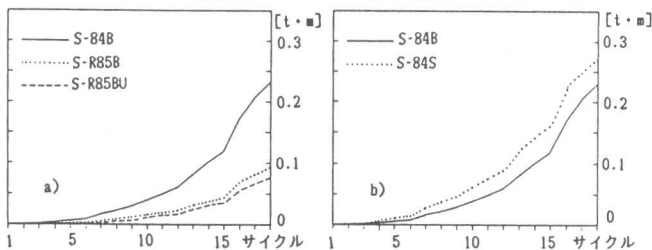


図.7 累積履歴面積

を設定する。まず、静的実験の同一繰り返しにおける最初の定常ループの面積 (A_p)と、バイリニア型モデルのループ面積 (A_{Bi})とが等しくなるようにバイリニア成分を定める(図.8)。その際、スケルトンカーブ上の降伏点 (P_y, δ_y)と初期剛性 K_e とを実験結果

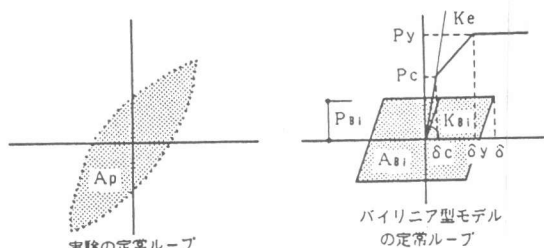


図.8 バイリニア成分の定め方

より求め、第一折れ曲がり点 (P_c, δ_c)を未知量とすることで次のような δ_c に関する二次式を得る。

$$a \cdot \delta_c^2 + b \cdot \delta_c + c = 0$$

$$\text{但し } a = K_e \cdot \delta_y - P_y$$

$$b = - \left\{ \frac{A_p}{4} + (K_e \cdot \delta_y - P_y) \delta \right\}$$

$$c = \frac{A_p}{4}$$

上式を δ_c について解き、小さい方の値を $P_{Bi} = A_p / 4(\delta - \delta_c)$ に代入することによりエネルギー的に等価なバイリニア成分を定めることができる。次に、各試験体の処女ループ及び定常ループからバイリニア成分を抜き取り、残りのループ形状(以後、残留ループ形状)よりバイリニア型モデルと重ね合わせる数学モデルを判断する。

図.9に各サイクル毎に定義された P_{Bi} 及び K_{Bi} の値を示す。バイリニア成分は定常ループのサイクル番号により変動し、番号の小さなサイクル程低い値を与えることがわかる。また、バイリニア型モデルの初期剛性は各サイクルを通して一定の値を示した。図.10にS-84B, S-R85BUの定常ループ及び処女ループからバイリニア成分を除いた残りの履歴形状を示す。S-R85BはS-R85BUと同様な傾向を示した。これらの結果から残留成分を表現する数学モデルは、S-84Bでは最大点指向型モデル、S-R85B, S-R85BUでは浮き上がり型モデルと最大点指向型

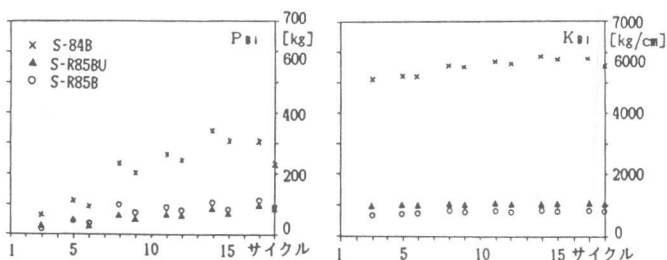


図.9 各サイクル毎のバイリニア成分

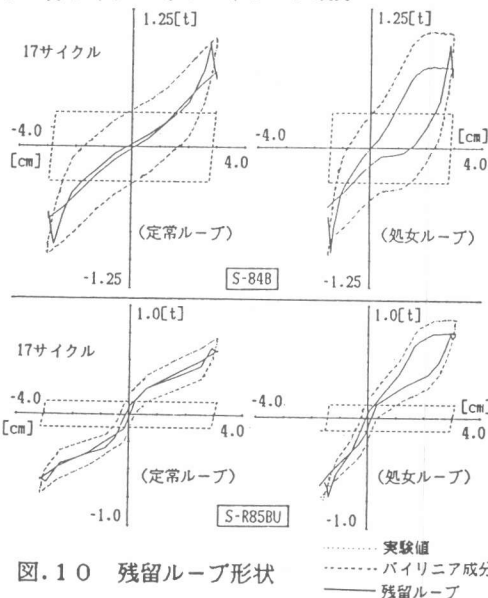


図.10 残留ループ形状

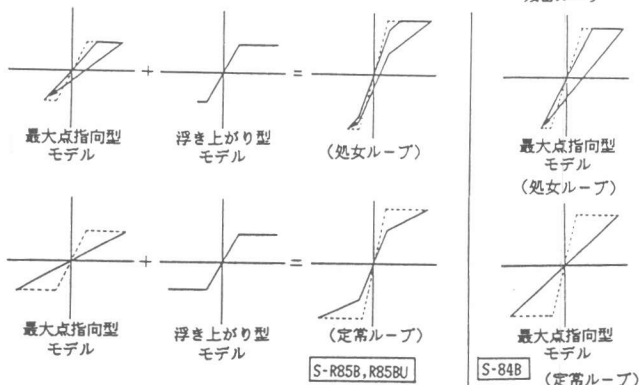


図.11 残留ループの数学モデル

モデルであることが予想できる(図. 11)。

図. 12に各サイクル毎の等価粘性減衰定数(h eq)を、静的実験結果と上述の手順で定められた並列結合モデル、及び武田モデルと比較してしめす。並列モデルのバイリニア成分は5サイクルと17サイクルで定義されたのもであり、武田モデルは降伏点以降の数値をプロットしてある。図より、

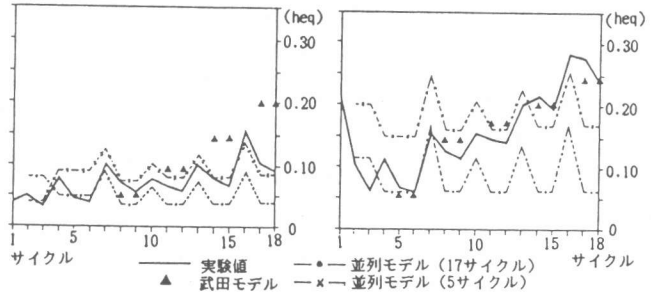


図. 12 等価粘性減衰定数 (heq)

本論文で設定された並列結合モデルは、バイリニア成分をどの定常ループで定義するかによってエネルギー的に過不足な評価を与えることになり、汎用的に使用するためにはさらに検討を要する。

6. 擬似動的実験

静的実験をベースにして設定された数学モデルの妥当性を検証する目的で、3体の並列耐震壁 (P-86B, P-R86B, P-R86BU) について擬似動的実験を行なった。想定した構造物は約15階建てのRC造建物である。図. 13に想定構造物の平面プランを示す。図の斜線部分を並列耐震壁の構面だけで負担するものとし、単位床面積あたりの重量を1.4t/m²として建物全体の質量 (m_p)を算定した。実験では上記のような構造物を一質点系に置き換えて取り扱うが、試験体の質量(m_m)は応力度と加速度を一致させる相似則にしたがって縮尺1/λ=1/30よりm_m=(1/λ²)・m_pから、m_m=10.64kgsec²/cmとした。また、減衰定数は3%とした。入力地震波はEL-CENTRO N-S成分波形(341.7gal)の最大値を1500galに基準化したものである。時間軸は相似則より原波形の地震継続時間15秒を2.74秒とした。加力装置は静的加力実験と同様であり、変位の制御は、パソコンで計算された応答変位を油圧ジャッキを用いて手動で与えることにより行なった。従って、本実験方法は実験システムが計算機とオンラインされた通常の擬似動的実験とは異なり、

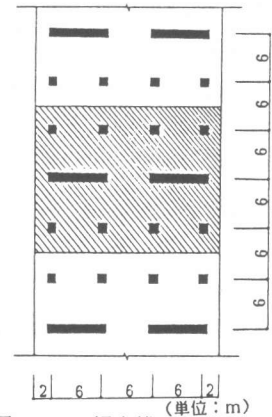


図. 13 想定構造物

コンピューターによる制御機構が加力装置から分離された形式を取る。軸力は、P-86Bでは個々の壁に対して0.6t、P-R86B, P-R86BUでは1.2tとした。

7. 解析結果および考察

図. 14に解析に用いた各試験体の復元力特性モデルを示す。各モデルは、静的実験よ

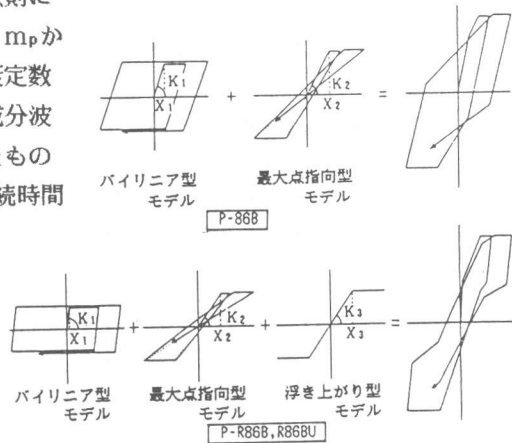


図. 14 復元力特性モデル

表. 5 各モデルのパラメーター

	K ₁ (kg/cm)	K ₂ (kg/cm)	K ₃ (kg/cm)	X ₁ (cm)	X ₂ (cm)	X ₃ (cm)
S-84B	5791.1	2208.9	—	0.0531	0.37	—
P-R86B	860.4	522.3	522.5	0.134	0.675	0.675
P-R86BU	1034.0	247.6	247.6	0.092	1.200	1.200

り前述した手順に従い設定されたものである。各試験体のバイリニア成分は実験結果の最大応答変位に近い繰り返し载荷を行なった17サイクルのループ面積より定められた値とし、また、基礎回転型では最大点指向型モデル、浮き上がり型モデルの剛性の割合を1:1とした。表.5に各数学モデルの設定値を示す。

図.15に各試験体の時刻履歴応答変位を、図.16に応答履歴曲線を、それぞれ実験結果と解析結果とを比較して示す。各試験体とも解析値と実験値とは良い一致を示し、静的実験より設定された復元力モデルの妥当性が検証できた。また、各試験体の最大応答変位は、P-86Bでは1.88cm、P-R86B、P-R86BUでそれぞれ1.93cm、2.00cmと基礎固定型と基礎回転型では、さほど大きな差は見られなかった。

8. まとめ

矩形断面の単体壁は曲げ型の良好な履歴を示し、同様の壁を有する並列耐震壁は支持条件、つなぎ梁の性質によってループ形状、耐力等に差がみられた。また、静的実験から求められたエネルギー的に等価なバイリニア成分と残留ループ形状より選定された数学モデルとの並列結合履歴は、並列耐震壁の応答性状を的確に再現することができた。擬似動実験における並列耐震壁の応答値は、1500galに基準化された多大な入力波に対してもきわめて良好な結果を示し、また、基礎固定型と基礎回転型とは最大応答変位においてさほど差が見られなかった。

以上より、矩形断面の壁で構成された並列耐震壁は優れた耐震性能を有し高層RC造建物の構造形式としてその有効性が確認できた。また本擬似動の実験は変位の制御を手動で行なう簡略化されたものであるが、実験結果を的確にシミュレートできたことから本実験法の信頼性が実証された。

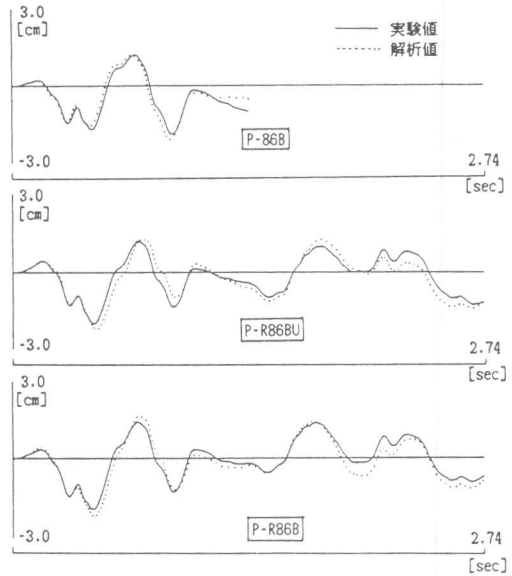


図.15 時刻履歴応答変位

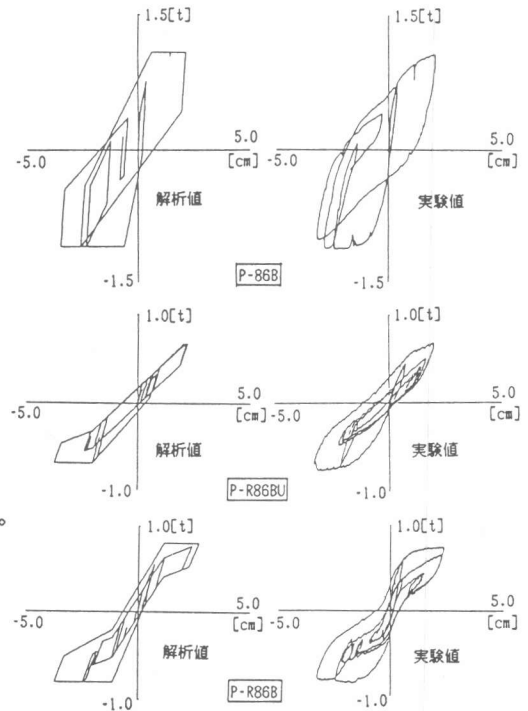


図.16 応答履歴曲線

<参考文献>

- (1) Thomas Paulay : Earthquake-Resisting Shear Walls New Zealand Design Trends, ACI Journal, May-June, 1980
- (2) 日本建築センター : 構造計算指針・同解説, 1981
- (3) 石丸 辰治 : 構造物の動的解析, 建築技術, No.378, 1983.2