

原子炉建屋耐震壁の動的復元力特性

塑性時の減衰性能と解析用履歴モデル

DYNAMIC RESTORING FORCE CHARACTERISTICS OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL IN REACTOR BUILDING

Energy dissipation capacity on plastic state and hysteresis model
for dynamic analysis

室井一夫*, 稲田泰夫**, 長嶋俊雄***, 兼近 稔****, 秋野金次*****

Kazuo MUROI, Yasuo INADA, Toshio NAGASHIMA,
Minoru KANECHIKA and Kinji AKINO

Many researches and experiments have already been conducted to evaluate the energy dissipation capacity on plastic state of RC shear wall. However, most of the researches and experiments are based on static loading tests or dynamic loading tests using small-scaled specimens.

The authors carried out dynamic vibration tests using a lot of large-scaled specimens of RC shear walls to propose a model of hysteresis loop and damping factor utilized in a dynamic analysis. This report provides an energy dissipation capacity on plastic state of RC shear walls based on the results of those tests, and provides hysteresis models for dynamic analysis.

Keywords : reinforced concrete, shear wall, reactor building, damping characteristics,
hysteresis loop, equivalent viscous damping factor, slip stiffness ratio

鉄筋コンクリート、耐震壁、原子炉建屋、減衰性能、履歴ループ、等価粘性減衰、スリップ剛性比

1. はじめに

原子炉建屋の鉄筋コンクリート造(RC)耐震壁は、せん断スパン比が小さくせん断破壊先行型であることや、鉄筋比が多いこと、形状が箱形や円筒型であること等の特徴がある。原子炉発電所耐震設計技術指針(JEAG)に掲載されている質点系非線形動的解析用のRC耐震壁の復元力特性モデル¹⁾は、原子炉建屋の耐震壁を模擬した多数の大型模型実験(ボックス壁、円筒壁、八角形壁、円錐台壁、I型壁など)の試験体の挙動に基づいて構築されたものであるが、それらの試験体の載荷方法はすべて静的であった。

筆者等は、大型模型試験体の振動台試験を始めとする系統的な多くの試験結果をもとに原子炉建屋耐震壁の復元力特性に関する研究を行った²⁾³⁾。このうち、スケルトンカーブにひずみ速度が及ぼす影響の定量的評価⁴⁾と、ひずみ速度の影響を考慮した動的解析方法の提案⁵⁾は、すでに報告済である。

JEAGに掲載されている原子炉建屋RC耐震壁の履歴ルールは $\tau-\gamma$ (せん断応力度-せん断変形角)関係は最大点指向型、 $M-\phi$ (曲げモーメント-曲率)関係はフランジ鉄筋降伏までは最大点指向型でそれ以降をD-tri型とすることになっている。最大点指向型としている理由は、多くの静的載荷試験の履歴ループは履歴面積を有しているものの、ばらつきが大きいために安全側として下限値

のゼロを採用したことである。また、静的載荷試験を根拠としていることから、減衰マトリックスの与え方については何も触れられておらず、減衰マトリックスと履歴面積との関係が明らかではない。

我々は、まず大型模型試験体の動的載荷時と静的載荷時の履歴面積と履歴形状の比較を行い、ひずみ速度が履歴面積や履歴形状に及ぼす影響の検討を行った。

次に、解析用の履歴モデルを構築するために、履歴面積を表現するパラメータである構造減衰と、履歴形状を表現するパラメータであるスリップ特性に関して整理し、解析用履歴モデルの提案を行った。

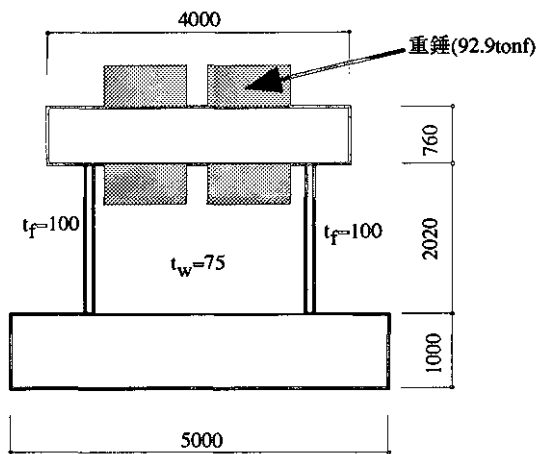
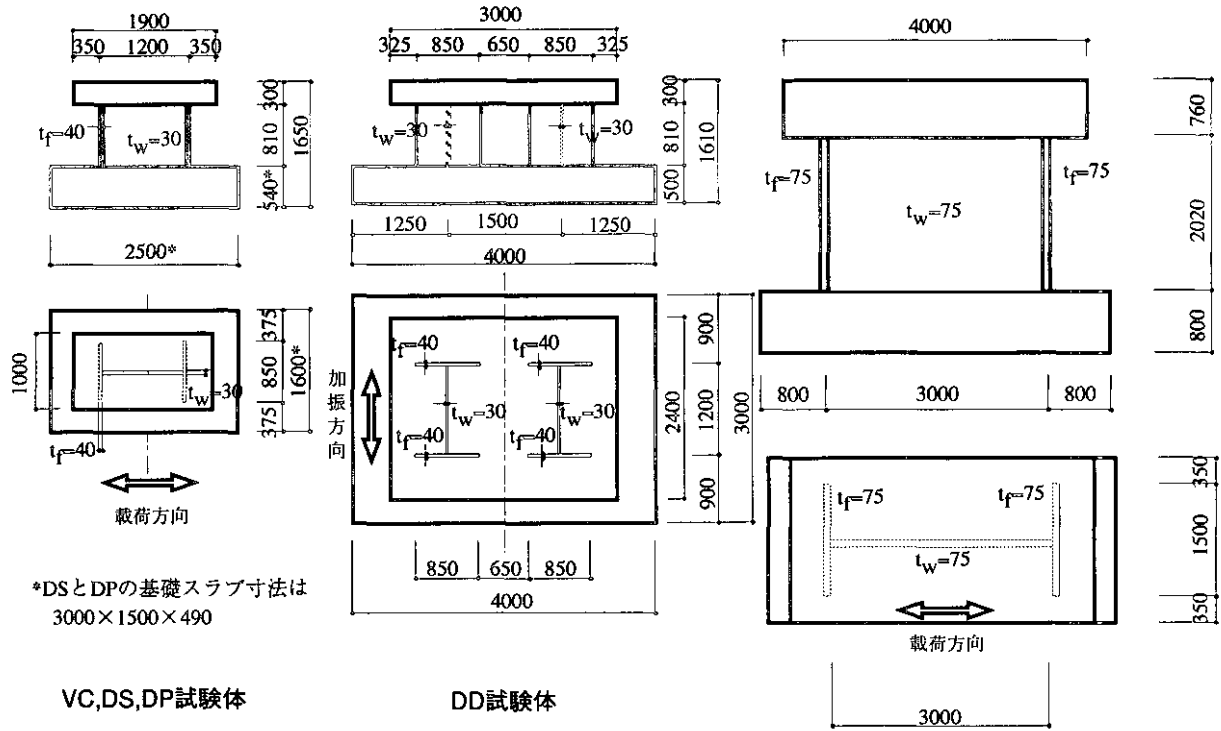
最後に、振動系全体のエネルギー吸収能力を考慮するために、振動方程式の減衰マトリックスの与え方と履歴モデルの組み合わせの検討を行い、大型模型試験体の振動台試験のシミュレーション解析を通して、提案モデルとJEAGの履歴モデルと比較しながら検討を行った。

2. 評価の対象とした試験の概要

本研究で対象としたRC模型試験体⁷⁾²⁰⁾は、図1に示すせん断スパン比が0.8のI型断面試験体である。内訳は表1に示す通り、静的載荷試験12体、動的試験(振動台試験と高速載荷試験)10

* 清水建設(株) 工修
** 清水建設(株) 工博
*** ㈱竹中工務店 工博
**** 鹿島建設(株) 工修
***** 元(株)原子力発電技術機構 工博

Shimizu Corp., M. Eng.
Shimizu Corp., Dr. Eng.
Takenaka Corp., Dr. Eng.
Kajima Corp., M. Eng.
Ex Nuclear Power Engineering Corp., Dr. Eng.



せん断スパン比 : 0.8
 鉄筋比 : 1.2%
 コンクリート強度 : 239~342kgf/cm²
 鉄筋降伏強度 : 3060~3890kgf/cm²

	軸方向応力度 kgf/cm ²	ウェブ壁厚 mm	フランジ壁厚 mm	配筋 タテ・ヨコとも
VC				
DD	16.9	30	40	D3@45 ダブル
DS				
DP				
U	15.0	75	100	D6@70 ダブル
RB	4.7 / 15.0	75	75	ダブル

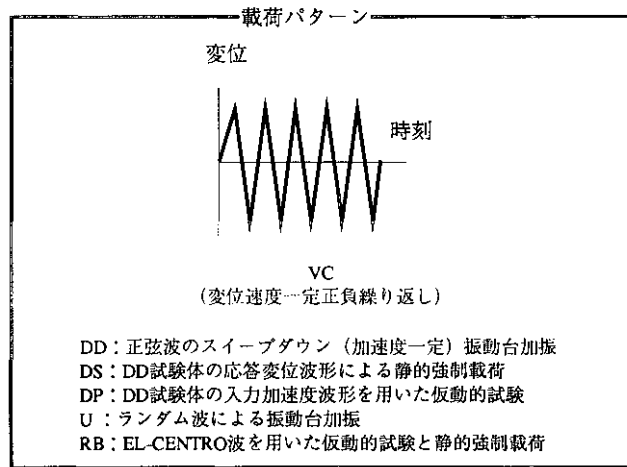
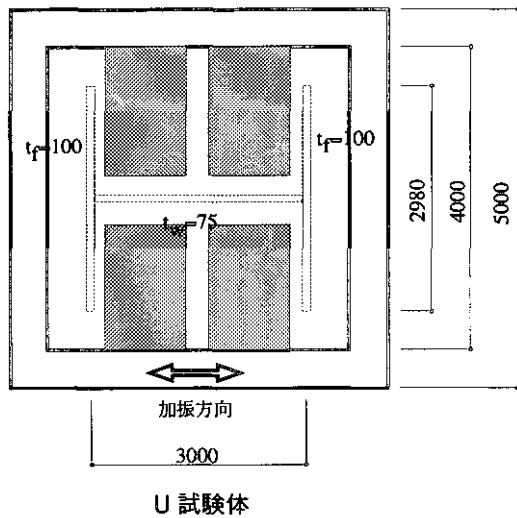


図1 評価の対象とした試験体の概要

体の合計22体である。

表1 本研究で対象とした試験体と載荷方法

載荷方法	略号	番号	体数	載荷方法
静的	VC	1	1	繰り返し
	DS	1~4	4	繰り返し
	DP	1~3	3	繰り返し(仮動的)
	RB	15P,00P	2	繰り返し(仮動的)
	RB	15S,00S	2	繰り返し
動的	VC	2~5	4	高速繰り返し
	ID	1~4	4	振動台試験(スイープ波)
	U	1~2	2	振動台試験(ランダム波)

3 評価方法

3.1 等価粘性減衰定数 heq

履歴ループから等価粘性減衰定数を求める方法は、ループが囲む吸収エネルギーを、最大位置エネルギーと 2π の積で除した値で評価するのが一般的である²²⁾。ただし、この方法は定常振動状態における原点对称のループを前提にして定義されたものであり、実際の試験データを整理する上では、塑性化に伴うループ中心の移動や、最大変形点と最大荷重点のずれ、正負のループ形状の違いなど、そのまま適用することは困難である。

そこで、位置エネルギーはループ中心からループ内の最大変形までの変形に比例するとし、さらに正負のループ形状の違いに対応するために等価粘性減衰定数 heq は正負 1/2 ループごとに定義することにした。本研究で定義した heq を図2に示す。

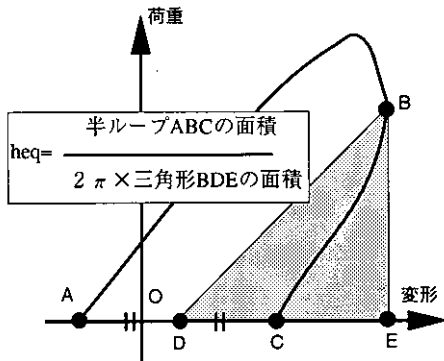


図2 本研究における等価粘性減衰定数の定義

なお、動的試験結果のごく一部に見られる荷重の増減に変形が比例しないループ(逆廻りになって heq が負値になるものや、ループの一部が8の字状にねじれるもの)は、評価の対象外とした。また、履歴吸収エネルギーと最大位置エネルギーが一致する heq は $1/(2\pi) \approx 0.159$ であることから、15%を超える heq は評価の対象外とした。

3.2 構造減衰と粘性減衰

試験から得られた等価粘性減衰定数には、以下の3種類の減衰が互いに組み合わさっているものと仮定した。

- 構造減衰：骨材のかみ合わせや鉄筋との付着に起因する減衰。塑性変形が進行しない定常ループ状態に履歴面積として現れる。

- 塑性履歴減衰：塑性変形が進行することにより履歴ループ面積を持つ減衰。塑性変形が進行するスケルトンカーブ上を移動する時だけに発生するもの。
- 粘性減衰：慣性力と変形の位相で表される減衰。一般に応答速度に比例すると仮定されるもの。

本研究では、試験データから得られた荷重-変形関係のループを、荷重と変形の最大値を更新して塑性変形が進行するループを親ループとし、それ以外のループを子ループとして区別し、それぞれのループに含まれる減衰成分を、表2に示すように仮定した。

表2 試験から得られたheqに含まれる各種減衰成分

載荷方法	ループ区別	構造減衰	塑性履歴減衰	粘性減衰
動的試験	親ループ	○	○	○
	子ループ	○	-	○
静的試験	親ループ	○	○	-
	子ループ	○	-	-

質点系非線形動的解析では、粘性減衰は減衰マトリックスで表現し、構造減衰と塑性履歴減衰を非線形バネの復元力特性で表現するのが一般的である。また、塑性履歴減衰は塑性変形が進行する際の力の釣り合いで決定されることからスケルトンカーブで表現され、構造減衰は塑性変形が進行しない定常ループにおける履歴面積として表現される。

これらのことから、構造減衰の評価は静的試験の子ループの heq から評価する方針とした。

なお、原子炉建屋の耐震壁の解析用復元力特性モデルはせん断 ($\tau-\gamma$ 関係) と曲げ ($M-\phi$ 関係) に分けて定義されているので、等価粘性減衰定数 heq もせん断ループと曲げループそれぞれにおいて評価する。せん断変形と曲げ変形への分離方法の詳細は、既報⁵⁾で述べているので、ここでは紙面の都合上省略させていただく。

3.3 スリップ剛性比

小川・阿部²³⁾および稲田²⁴⁾は履歴モデルを作成する上で、履歴面積を表現する heq のみならず、履歴の形状を定義するスリップ剛性比もパラメータとして取り上げている。

スリップ剛性比は、ループの等価剛性 K_{eq} に対する変形ゼロ時の剛性の比で定義される。スリップ剛性比の求め方を図3に示す。

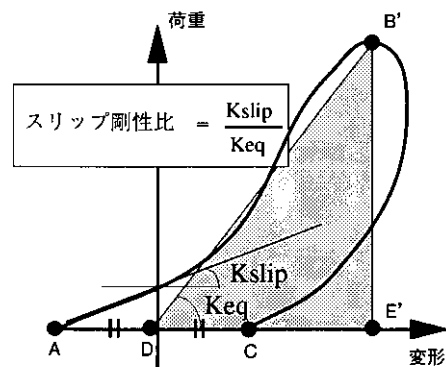


図3 スリップ剛性比の定義

3.4 ひずみ速度と平均ひずみ速度

ここでは質点系動的解析への適用性を考慮して、ひずみ速度を層間変形角の時間微分値として定義している。ただし、履歴ループとひずみ速度の関係を検討するための評価尺度は、既報⁹⁾のスケルトンカーブとひずみ速度の関係を評価した際に用いた上り1/4ループ内のひずみ速度を平均した「平均ひずみ速度」に合わせた(図4)。なお、1/4ループのひずみ速度の平均値と1/2ループ内のひずみ速度平均値の相関性は極めて高い(相関係数0.98)ことを確認している。

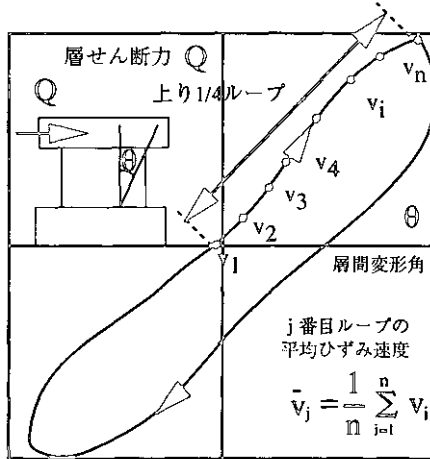


図4 平均ひずみ速度 \bar{v}_j の定義

4. ひずみ速度の影響に関する評価結果

4.1 等価粘性減衰定数とひずみ速度の関係

動的試験の子ループから得られる等価粘性減衰定数と平均ひずみ速度の関係は図5に示す通りである。等価粘性減衰定数と平均ひずみ速度には明確な相関関係はない(相関係数:せん断 0.49、曲げ 0.02)ことがわかる。

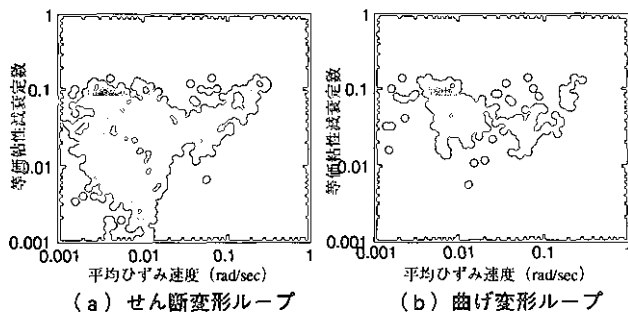


図5 等価粘性減衰定数とひずみ速度の関係

4.2 スリップ剛性比とひずみ速度の関係

動的試験の子ループから得られるスリップ剛性比と平均ひずみ速度の関係は図6に示す通り、スリップ剛性比とひずみ速度には明確な相関関係はない(相関係数:せん断-0.37、曲げ-0.34)ことがわかる。

履歴面積を表現する等価粘性減衰定数と、スリップ形状を表現するスリップ剛性比についてのいずれも、平均ひずみ速度との間に明確な相関関係を見出すことができなかった。このことから、解析用履歴モデルには、ひずみ速度の影響を取り入れないこととした。

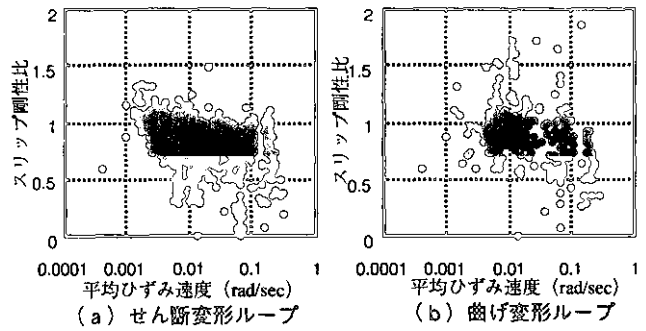


図6 スリップ剛性比と平均ひずみ速度の関係

5. 構造減衰に関する評価結果

構造減衰は骨材のかみ合わせや鉄筋との附着に起因する減衰としたことから、当該ループが現れた時点までに経験した最大変形との関係を整理した。なお、試験体寸法が異なるデータを同時に扱うことから、せん断変形ループの構造減衰は経験したせん断変形角との関係を、曲げ変形ループの構造減衰は経験した曲げ変形角との関係を評価する。図7にその結果を示す。

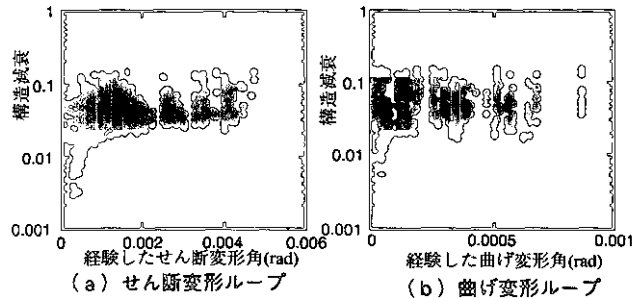


図7 構造減衰と経験変形の関係

5.1 せん断ループの構造減衰

(1) 第1折点以下(線形領域)の構造減衰

解析では第1折点以下は線形振動として扱うので、構造減衰はゼロとして、履歴面積を持たせないこととした。

(2) 第2折点から終局点までの構造減衰

試験体の第2折点せん断変形角から終局せん断変形角の範囲の構造減衰を母集団として回帰分析し、下式を得た。

$$\text{構造減衰} = 0.031 \times \exp(131.17 \times \text{経験せん断変形角})$$

この式では第2折点相当の経験せん断変形角 0.5/1000rad で3.32%、1.0/1000rad で3.55%であり、終局点の4/1000rad で5.26%となる。このことから、簡単化のため解析用の構造減衰は第2折点を3%、終局点を5%と設定し、これを線形補間するものとした。

(3) 第1折点から第2折点までの構造減衰

第1折点に相当する0.2/1000~0.3/1000rad から第2折点までのデータ分布はほぼ連続してばらついている。そこで、解析用の構造減衰は、第1折点のゼロと第2折点の3%を線形補間することとした。

5.2 曲げループの構造減衰

(1) 曲げ成分の構造減衰

図7(b)に示す通り、曲げループの構造減衰は経験曲げ変形角に対

して相関性がなく、その平均値を求めると0.0568であった。このことから、基本的な構造減衰は5%で一定とする。

(2) 第1折点以下の構造減衰

第1折点以下は線形振動と仮定するので、構造減衰はゼロとして、履歴面積を持たせないこととした。

(3) 第1折点近傍の不連続点の取扱い

第1折点までは構造減衰が0で、それ以降を5%とすると、第1折点を越えたと同時に履歴面積を有する不連続性が生じる。そこで第1折点変形までゼロ、第1折点変形から第1折点変形の α 倍の変形までを線形的に増加させ、それ以降を5%で一定とすることとした。 α の値は不連続性が生じない程度に1.0に近い値とすることが望ましいので、ここでは α を1.2と設定した。

提案した解析用構造減衰をまとめて図8に示す。

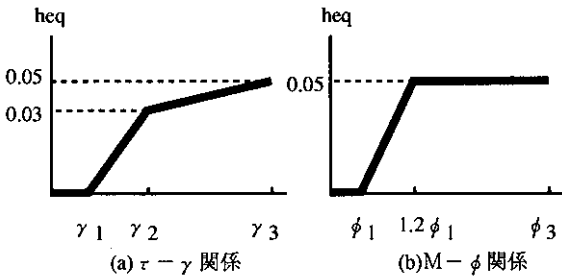


図8 解析用の構造減衰

6. スリップ剛性比に関する評価結果

図9は、スリップ剛性比と経験変形角の関係を示したものである。

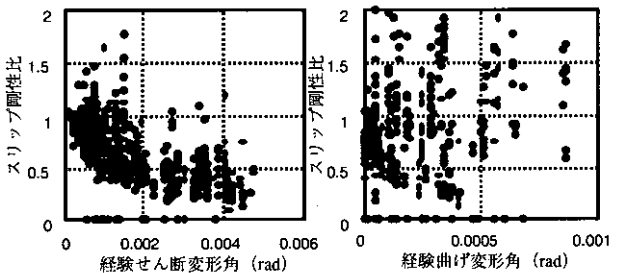


図9 スリップ剛性比と経験変形の関係

6.1 せん断ループのスリップ剛性比

せん断ループのスリップ剛性比は、経験せん断変形角が進むにつれて低下していく傾向が見られる。第1折点までは線形解析としたのでスリップ剛性比は1.0である。そこで、第1折点を越えたデータだけを母集団として回帰分析を行い、下式を得た。

$$\text{スリップ剛性比} = 0.944 - 157 \times \text{経験せん断変形角}$$

この式に第1折点せん断変形角の0.2/1000rad~0.3/1000radを代入すると0.90程度であり、第1折点までの1.0と大きな差はない。また、終局せん断変形角の4/1000radを代入すれば0.32となる。これらのことから、解析用のスリップ剛性比は第1折点までは1.0とし、終局点を0.3とし、その間を線形補間するものとした。

6.2 曲げループのスリップ剛性比

曲げのスリップ剛性比はばらつきが大きく、特性を表現すること

が困難であった。原子炉建屋の耐震壁はせん断変形が先行し、曲げループのスリップ特性が耐震壁全体の挙動に大きな影響を及ぼすとは考えにくいことから、解析用モデルでは曲げループのスリップ特性を考慮しないこととした。

提案した解析用スリップ剛性比をまとめて図10に示す。

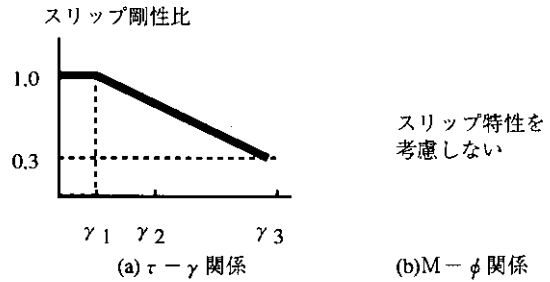


図10 解析用のスリップ剛性比

7. 解析用の履歴モデルの構築

構造減衰とスリップ剛性比が適用できる既往の復元力特性モデルとして、稲田が提案している履歴数学モデル²⁹を選択し、これに設定した構造減衰とスリップ剛性比を適用することとした。稲田の履歴数学モデルは、構造減衰とスリップ剛性比をパラメータとして、図11のように履歴が変化するルールとなっている。

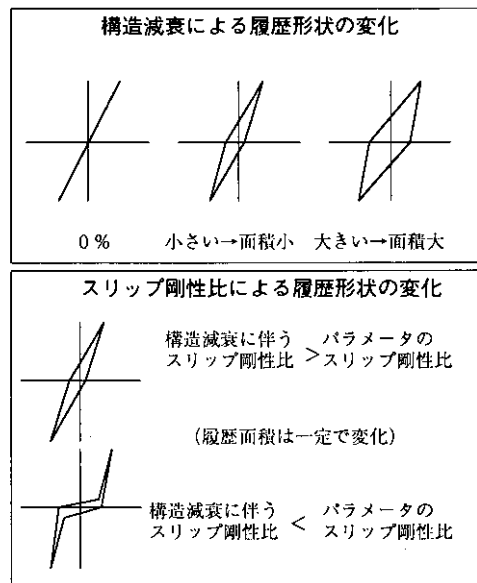


図11 構造減衰とスリップ剛性比による履歴の変化

8. シミュレーション解析

8.1 対象試験の概要

シミュレーション解析の対象は、図1左下に示したU試験体の振動台試験である。試験体はRC造のI型耐震壁であり、壁部に鉛直方向軸力と慣性力を与えるため、トップスラブには重錘を設置しており、壁部の軸方向応力度は15kg/cm²である。加振は(財)原子力発電技術機構多度津工学試験所の大型高性能振動台を用いて、ランダム波(図12に示す人工地震波)の入力レベルを順次上げながら行った。

- run1: 微小振幅レベルで弾性範囲内 (53Gal)
 - run2: せん断ひび割れ発生時のひずみレベル (112Gal)
 - run2': せん断ひび割れ発生時のひずみレベル (304Gal)
 - run3: run2 の3倍のひずみレベル (352Gal)
 - run4: せん断変形角が 2/1000rad 程度のレベル (577Gal)
 - run5: 最大耐力近傍のレベル (4/1000rad 程度) (1230Gal)
- ()内は最大加速度値

詳細については、参考文献 25) を参照されたい。

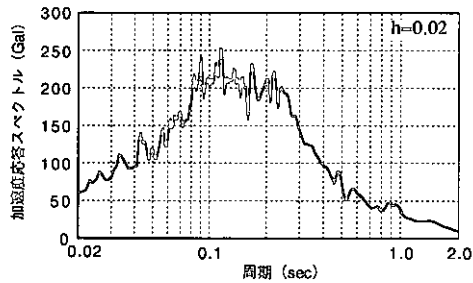
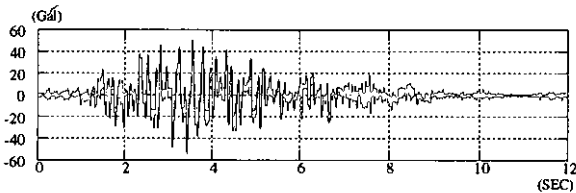


図 1 2 入力地震波と加速度応答スペクトル

8.2 解析モデル

解析は試験体を集中質量と曲げせん断はりで表現した図 1 3 に示す、基礎固定の多質点系振動モデルを用いた。

試験では入力レベルを順次上げて行ったことから、解析では入力波を連結させた連続解析とし、過去の加振による試験体の損傷の影響を考慮できるようにしている。

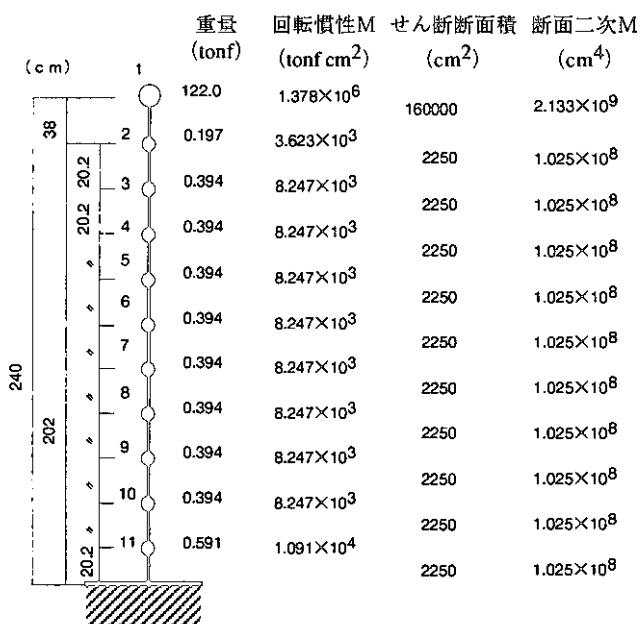


図 1 3 解析モデルと諸元

壁部のスケルトンカーブは、ひずみ速度の影響を考慮した動的スケルトンカーブ⁵⁶⁾を用いた。これは、試験体の諸元から J E A G の手法により静的スケルトンカーブを求め、これにひずみ速度の影響を考慮して、 $\tau-\gamma$ 関係の第 2 折点と終局点の荷重値を割増する方法である。各 run ごとにひずみ速度に応じた割増率を事前に算出した結果 1.18~1.26 になったので、連続解析の際は各 run 共通に割増率を 1.2 倍とした。動的スケルトンカーブの具体的数値を表 3 に示す。

表 3 解析に用いたスケルトンカーブの折点座標

第 1 折点	τ (kgf/cm ²)	2.34E+01	M(kgf·cm)	2.35E+07
	γ (rad)	2.34E-04	ϕ (cm ⁻¹)	9.79E-07
第 2 折点	τ (kgf/cm ²)	3.79E+01	M(kgf·cm)	5.11E+07
	γ (rad)	7.01E-04	ϕ (cm ⁻¹)	8.59E-06
終局点	τ (kgf/cm ²)	7.47E+01	M(kgf·cm)	5.90E+07
	γ (rad)	4.00E-03	ϕ (cm ⁻¹)	1.72E-04

8.3 解析ケースとパラメータ

パラメータとしたのは、履歴モデルと減衰マトリックスである。履歴については、本報で提案した構造減衰とスリップ剛性比を反映した「稲田の履歴ルール」と現行設計手法の「最大点指向型」とした。減衰マトリックスは剛性比例型として、その比例方法である初期剛性比例型と瞬間剛性比例型をパラメータとした。解析ケースは、履歴と減衰マトリックスを組み合わせた 3 ケースとし、それぞれ表 4 の通りに詳細法、簡易法、従来法 (J E A G の方法と同等) とした。なお、減衰マトリックスを構成するための減衰定数は、初期剛性時の 1 次固有振動数で 2% とした。

表 4 解析ケースとパラメータの組み合わせ

	非線形バネ	減衰マトリックス
詳細法	構造減衰とスリップ考慮	瞬間剛性比例型
簡易法	構造減衰とスリップ考慮	初期剛性比例型
従来法	最大点指向型	初期剛性比例型

8.4 解析結果

解析結果の最大加速度および最大変形を試験結果と比較して表 5 に示す。Run1 を除き、どの解析ケースでも計測された最大応答値をよく表現できていることがわかる。

Run1 は解析上では線形振動であり、減衰定数を 1% にすることにより、試験と解析はほぼ一致する。しかし、第 1 折点付近の応答である run2 から run5 までは、減衰定数 2% で試験結果をよく表現

表 5 最大応答値の比較 () 内は解析値 / 試験値

	最大応答加速度(Gal)				最大応答変位(cm)			
	試験値	詳細法	簡易法	従来法	試験値	詳細法	簡易法	従来法
	run1	208.3	153.6 (0.74)	153.6 (0.74)	153.6 (0.74)	0.029	0.021 (0.72)	0.021 (0.72)
run2	397.7	419.8 (1.06)	420.8 (1.06)	420.8 (1.06)	0.058	0.058 (1.01)	0.058 (1.01)	0.058 (1.01)
run2'	607.1	545.2 (0.90)	536.9 (0.88)	560.7 (0.92)	0.105	0.107 (1.02)	0.103 (0.98)	0.113 (1.07)
run3	704.4	679.9 (0.97)	650.6 (0.92)	691.1 (0.98)	0.163	0.159 (0.98)	0.147 (0.90)	0.165 (1.01)
run4	882	910.5 (1.03)	865.6 (0.98)	941.4 (1.07)	0.372	0.412 (1.11)	0.346 (0.93)	0.431 (1.16)
run5	1341	1353 (1.01)	1447 (1.08)	1484 (1.11)	>2.0	4.19	1.381	1.877

できている。なお、run5の試験値は、変位計の測定範囲 2.0cm を超えているが、簡易法と従来法は 2.0cm 以下となっている。

Run4 と run5 の加速度-変形の履歴は図 1 4 と図 1 5 にそれぞれ示す通りである。さらに run4 の際のトップスラブの床応答スペクトル(加速度応答波形の応答スペクトル)を図 1 6 に示す。以上の結果より、詳細法は最大耐力発生域まで試験結果をよく追従しているものの、簡易法では全体的にやや応答が小さめになっていることと、従来法でもせん断変形角が 2/1000rad までは十分追従できているこ

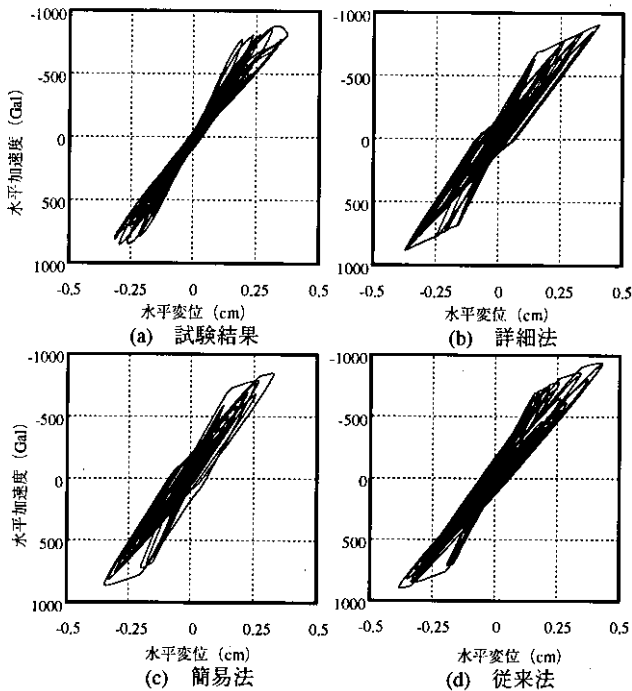


図 1 4 run4の応答加速度-応答変位履歴

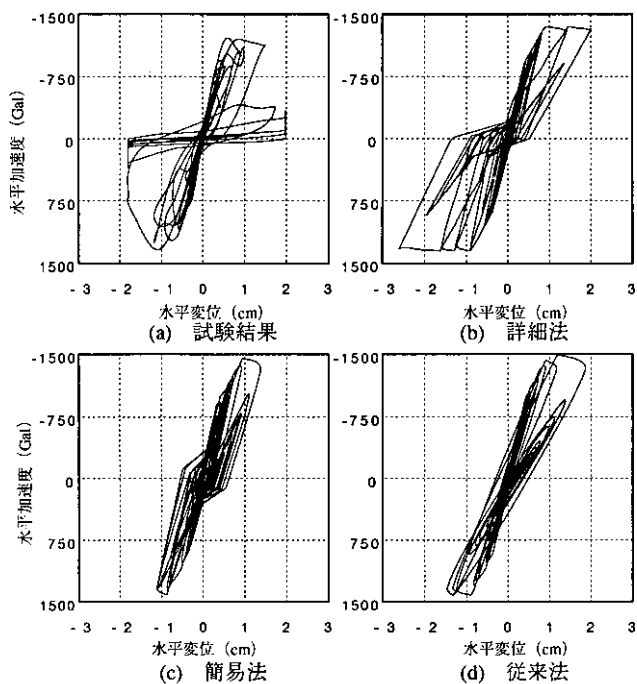


図 1 5 run5の応答加速度-応答変位履歴

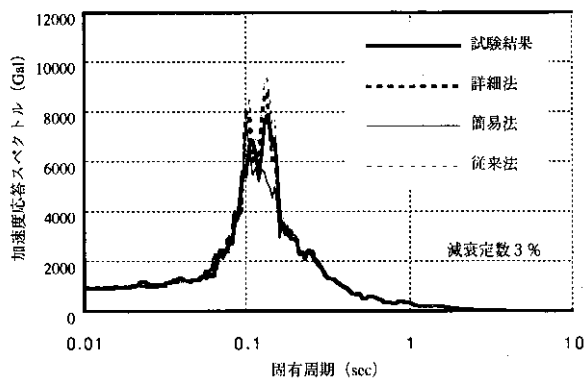


図 1 6 run4の床応答スペクトル

とがわかる。簡易法では塑性化に伴い履歴減衰が大きくなるものの、減衰マトリックスが塑性化しても一定のために過減衰となると考えられる。

そこで、試験で得られた子ループの h_{eq} と等価剛性 K_{eq} (図 3 参照) およびトップスラブと重錘の質量 M から、等価減衰係数 C_{eq} を求めて、経験した水平変形角との関係をプロットしたものを図 1 7 に示す。

$$C_{eq} = 2h_{eq}\sqrt{MK_{eq}}$$

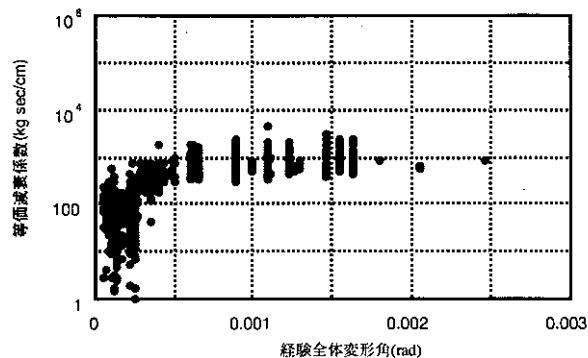


図 1 7 等価減衰係数 C_{eq} と経験変形角の関係

これより、塑性化が進行しない定常ループにおける振動系全体の減衰性能 C_{eq} は、弾性時のばらつきの範囲を除き、弱塑性域 (0.2/1000rad 程度) から強塑性域 (2/1000rad 程度) までほぼ一定となっていることがわかる。すなわち、履歴ルールで履歴面積を持つような非線形バネを設定する場合には、瞬間剛性比例型減衰のように減衰マトリックスの減衰能力を低下させる必要があることになる。また、J E A G のように履歴面積をゼロにした場合には、減衰マトリックスを弾性時から一定とする方法が、手法が単純であると同時に振動系全体の減衰性能を捉えることができることになる。

J E A G の方法では最大耐力発生付近では履歴のスリップ形状が顕著になるために試験体の挙動への追従性は若干悪くなるものの、原子力発電所耐震壁の許容限界値がせん断変形角にして 2/1000rad であることを考慮すれば、設計への適用上問題ないモデルであるといえよう。

9. まとめ

本論文で得られた知見を以下に示してまとめとする。

- 1) 履歴面積を表現する h_{eq} と履歴形状を表現するスリップ剛性比は、ひずみ速度の影響を受けない。
- 2) 大型試験体の載荷試験結果をもとに、 $\tau-\gamma$ 関係と $M-\phi$ 関係について、解析用の履歴モデルの提案を行った。
- 3) 提案した履歴モデルと瞬間剛性比例型減衰マトリックスと組み合わせることにより、大型試験体の振動台試験結果に最大耐力発生域まで試験体の挙動を追随することができることを確認した。
- 4) 提案した履歴モデルに弾性時から塑性時まで一定の減衰マトリックスを組み合わせると過減衰になり、試験体の挙動を過少評価することが明らかになった。
- 5) J E A G に掲載されている履歴モデルに弾性時から塑性時まで一定の減衰マトリックスを組み合わせると、せん断変形角が $2/1000\text{rad}$ レベルまで試験体の挙動を追随することができ、設計への適用上問題ない。

に関する試験（その6～10）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2685-2689, pp1369-1377, 1990.10

- 16)～19) 柴田明徳、神田順、久保哲夫、秋野金次、ほか：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その11～14）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2780-2783, pp1559-1566, 1993.9
- 20)～21) 柴田明徳、神田順、久保哲夫、秋野金次、ほか：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その15～16）、建築学会大会学術講演梗概集 No.21506-21507, pp1011-1014, 1995.9
- 22) Jacobsen, L., S., : Damping in Composite Structures, II WCEE, Tokyo, 1960
- 23) 小川淳二、阿部：鉄筋コンクリート骨組の動的特性に関する実験的研究 III、日本建築学会大会学術講演梗概集、1968、pp93-96
- 24) 稲田泰夫：原子炉建屋立体耐震壁の復元力特性に関する研究（その3）荷重変形関係履歴ループの検討、日本建築学会構造系論文報告集第382号、1987.12
- 25) 原子力発電技術機構：原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 原子炉建屋耐震壁終局強度評価に関する報告書 平成6年度、1995.

(1997年4月8日原稿受理、1997年6月24日採用決定)

謝辞

本研究は、財団法人原子力発電技術機構が通商産業省から委託を受けて実施している耐震安全解析コード改良試験事業の一環として実施した内容の一部を、論文としてまとめなおしたものである。

ご指導いただいた柴田明徳教授（東北大学）、大谷圭一博士（科学技術庁防災研究所）、瀧口克己教授（東京工業大学）、神田順助教授（東京大学）、久保哲夫教授（名古屋工業大学）、芳村学助教授（東京都立大学）の諸先生方を始めとする原子炉建屋総合評価分科会委員の各位、本研究の遂行に尽力を注がれ、かつ論文にまとめる機会を与えていただきました、財団法人原子力発電技術機構の方々、また論文内容のご指導をいただいた、五十嵐克哉博士（鹿島建設）に、ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 電気技術指針原子力編：原子力発電所耐震設計技術指針、社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会、J E A G 4601-1991 追補版, pp80-81, 1991.12
- 2) 原子力発電技術機構：耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 動的復元力に係わる試験に関する報告書 平成6年度、平成7年3月
- 3) 原子力発電技術機構：原子力発電所施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価建屋系評価に関する報告書 平成6年度、1995.3
- 4) 原子力発電技術機構：原子力発電所施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価建屋基礎地盤系評価に関する報告書 平成7年度、1996.3
- 5) 室井一夫、五十嵐克哉、関松太郎、長嶋俊雄、秋野金次：鉄筋コンクリート造耐震壁の動的復元力特性 スケルトンカーブとひずみ速度の関係に関する研究、日本建築学会論文報告集、第498号、1997.8
- 6) 兼近稔、五十嵐克哉、室井一夫、秋野金次：スケルトンカーブにひずみ速度の影響を考慮した鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性地震応答解析法に関する研究、日本建築学会論文報告集、第495号、1997.5
- 7) 岡田恒男、神田順、秋野金次、遠藤彰：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その1 試験の概要）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2609, pp1217-1218, 1988.10
- 8)～10) 岡田恒男、秋野金次ほか：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その3～5）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2528-2530, pp1055-1060, 1989.10
- 11)～15) 柴田明徳、久保哲夫、秋野金次ほか：原子炉建屋耐震壁の動的性能