

# 原子炉建屋耐震壁の動的復元力特性

スケルトンカーブに及ぼすひずみ速度の影響

## DYNAMIC RESTORING FORCE CHARACTERISTICS OF A REACTOR BUILDING

Strain rate effects of the skeleton-curve for reinforced concrete shear wall

室井一夫\*, 五十嵐克哉\*\*, 関松太郎\*\*\*, 長嶋俊雄\*\*\*\*, 秋野金次\*\*\*\*\*

Kazuo MUROI, Katsuya IGARASHI, Matsutaro SEKI,  
 Toshio NAGASHIMA and Kinji AKINO

The effect of strain rate to a stress-strain relationship is examined based on dynamic tests to propose a new dynamic skeleton curve for reinforced concrete shear walls in a reactor building. Such effect was not taken into consideration though quite a few proposals of the relationships, i.e. shear stress-strain and bending moment-curvature, were made in the past based on extensive static loading tests. The proposed new dynamic skeleton curve is used in a non-linear seismic analysis with a lumped mass model for the reactor building.

**Keywords:** reinforced concrete, dynamic loading, strain rate, skelton curve, shear wall, restoring force characteristics, reactor building

鉄筋コンクリート、動的荷重、ひずみ速度、スケルトンカーブ、耐震壁、復元力特性、原子炉建屋

### 1. はじめに

原子力発電所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り、鉄筋比が多く、形状が箱形や円筒型であること等、一般構造物の耐震壁とは異なっている。原子炉建屋の非線形地震応答解析では、建屋を質点系に置換し、RC耐震壁部材をせん断バネと曲げバネにモデル化し、それぞれの復元力特性は数学モデルで表現されるのが一般的である。この数学モデルは、原子炉建屋耐震壁を模擬したRC試験体を用いた多くの静的載荷試験に基づいており、既に原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG)<sup>1)</sup>に掲載されている。一方、コンクリート供試体あるいはRC部材を対象とした載荷速度と耐力、破壊性状などに関する研究が行われ、RC部材の復元力特性は載荷速度の影響を受けることが指摘されている<sup>2)~10)</sup>。しかしながら、質点系動的解析モデルで用いることを対象として、RC耐震壁の復元力特性と載荷速度を定式化した研究は見あたらない。

筆者等は、模型試験体の振動台試験を含む系統的な多くの試験結果をもとに、原子炉建屋RC耐震壁の復元力特性とひずみ速度の関係を明らかにする研究を行った。<sup>11)~20)</sup>

本報は、静的および動的載荷試験の荷重-変形関係およびひずみ速度のデータを整理し、復元力特性のスケルトンカーブ(荷重-変

形関係の包絡線)に及ぼすひずみ速度の影響に関して、確率統計的手法を取り入れて定式化を試みたものである。

### 2. 研究の対象とした試験体

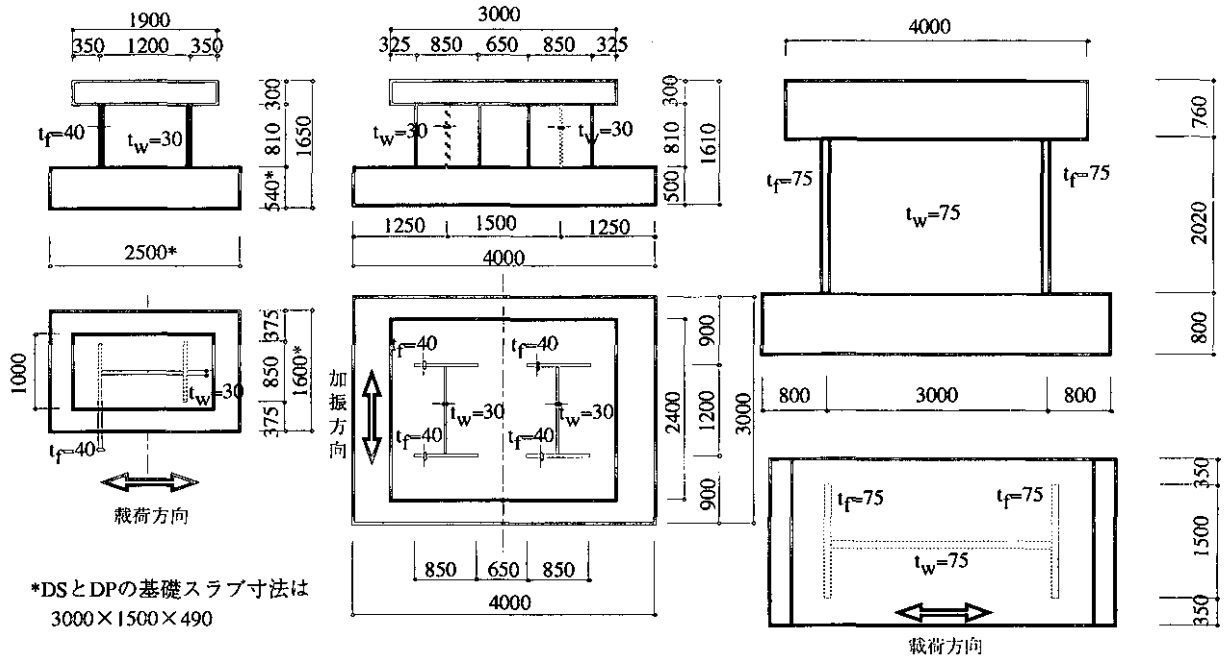
本研究で対象としたRC模型試験体は、原子炉建屋耐震壁を模擬した、せん断スパン比が0.8、鉄筋比1.2%のI型断面試験体である。内訳は表1に示す通り、静的載荷試験13体、動的試験(振動台試験と高速載荷試験)16体の合計29体である。図1に、研究の対象とした試験体の概要を示す。

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	VM	1	1	単調一方向静的載荷
	VC	1	1	正負繰り返し静的載荷
	DS	1~4	4	DDの応答変位の静的載荷
	DP	1~3	3	DDの入力を用いた仮動的試験
	RB	15P,00F	2	EL-Centro波を用いた仮動的試験
	RB	15S,00S	2	正負繰り返し静的載荷試験
動的	VM	2~7	6	単調一方向変位速度一定
	VC	2~5	4	高速繰り返し変位速度制御
	DD	1~4	4	振動台試験(正弦スイープ波)
	U	1~2	2	振動台試験(ランダム波)

\* 清水建設㈱電力・エネルギー本部 工修  
 \*\* 鹿島建設㈱技術研究所 工博  
 \*\*\* ㈱大林組技術研究所 工博  
 \*\*\*\* ㈱竹中工務店技術研究所 工博  
 \*\*\*\*\* 元動原子力発電技術機構 工博

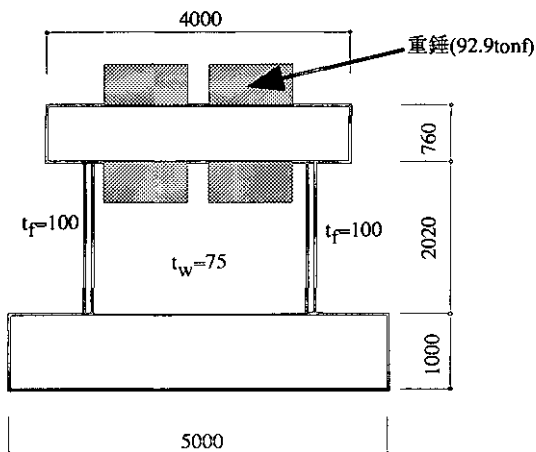
Power & Energy Project Div., Shimizu Corp., M. Eng.  
 Kajima Technical Research Institute, Dr. Eng.  
 Technical Research Institute, Ohbayashi Corp., Dr. Eng.  
 Research & Development Institute, Takenaka Corp., Dr. Eng.  
 EX Nuclear Power Engineering Corp., Dr. Eng.



VM, VC, DS, DP試験体

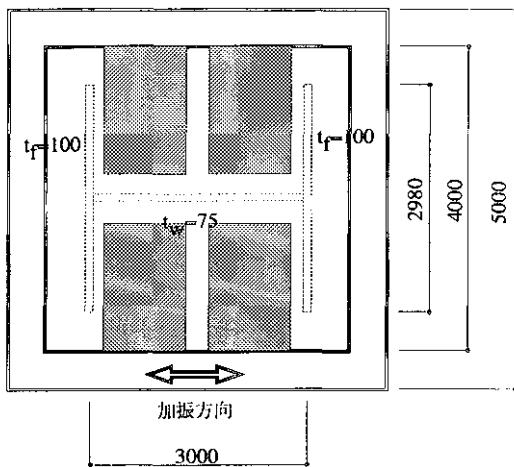
DD試験体

RB試験体



せん断スパン比 : 0.8  
鉄筋比 : 1.2%  
コンクリート強度 : 239~342kgf/cm<sup>2</sup>  
鉄筋降伏強度 : 3060~3890kgf/cm<sup>2</sup>

	軸方向応力度 kgf/cm <sup>2</sup>	ウェブ壁厚 mm	フランジ壁厚 mm	配筋 ﾀﾞｲ・ｺｺとも
VM				
VC				
DD	16.9	30	45	D3@45 ﾀﾞﾌﾞﾙ
DS				
DP				
U	15.0	75	100	D6@70
RB	4.7 / 15.0	75	75	ﾀﾞﾌﾞﾙ



U試験体

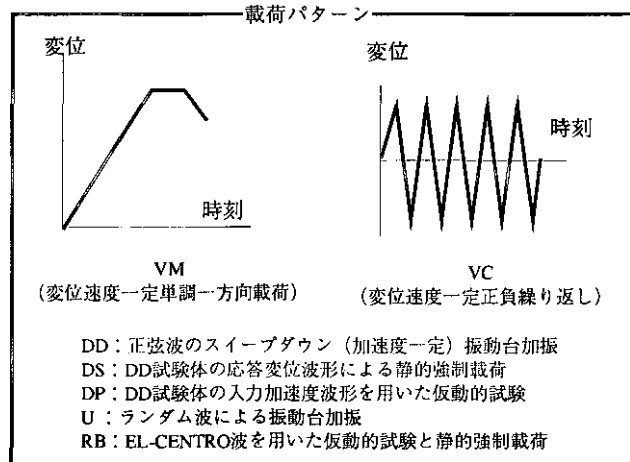
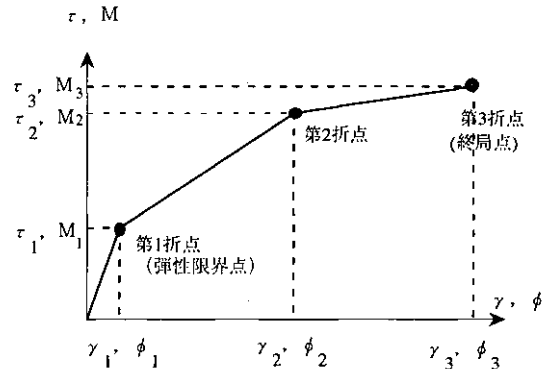


図1 評価の対象とした試験体の概要

### 3. スケルトンカーブの動的効果の評価方法

#### 3.1 静的試験に基づくスケルトンカーブ

静的試験に基づくスケルトンカーブは、ボックス壁、円筒壁などを含む100体近い静的載荷試験データをもとに、図2に示すJ E A Gのスケルトンカーブが提案されており、原子炉建屋の動的解析に多用されている。本研究では、動的載荷時のひずみ速度に応じて、J E A Gのスケルトンカーブの各折点がどのように変化するかを評価することとした。



**τ-γ関係**

第1折点  $\begin{cases} \tau_1 = \sqrt{F_c(\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \\ \gamma_1 = \tau_1 / G \end{cases}$

第2折点  $\begin{cases} \tau_2 = 1.35 \tau_1 \\ \gamma_2 = 3 \gamma_1 \end{cases}$

第3折点  $\begin{cases} \tau_3 = \begin{cases} (1 - \tau_s / (4.5 \sqrt{F_c})) \tau_0 + \tau_s, & \tau_s \leq 4.5 \sqrt{F_c} \\ 4.5 \sqrt{F_c}, & \tau_s > 4.5 \sqrt{F_c} \end{cases} \\ \gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3} \\ \tau_0 = (3 - 1.8M / QD) \sqrt{F_c} \\ \tau_s = (P_v + P_H)_s \sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_H) / 2 \end{cases}$

**M-φ関係**

第1折点  $\begin{cases} M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v) \\ \phi_1 = M_1 / (C E \cdot I_e) \end{cases}$

第2折点  $\begin{cases} M_2 = M_y \\ \phi_2 = \phi_y \end{cases}$

第3折点  $\begin{cases} M_3 = M_u \\ \phi_3 = 0.004 / X_{nu} \leq 20 \phi_2 \end{cases}$

$F_c$	: コンクリートの圧縮応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
$G$	: コンクリートのせん断弾性係数 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
$R_v, P_H$	: 縦、横筋比 (実数)
$\sigma_v, \sigma_H$	: 縦、横軸応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) (圧縮を正とする。)
$\sigma_y$	: 鉄筋降伏応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) 公称値の1.1倍とする。
$M / QD$	: シアスパン比
$I_e$	: 鉄筋を考慮した断面2次モーメント ( $\text{cm}^4$ )
$Z_e$	: 鉄筋を考慮した断面係数 ( $\text{cm}^3$ )
$C E$	: コンクリートのヤング係数 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
$f_t = 1.2 \sqrt{F_c}$	: コンクリートの曲げ引張強度 ( $\text{kgf/cm}$ )
$M_y$	: 引張鉄筋降伏時モーメント ( $\text{kgf} \cdot \text{cm}$ )
$\phi_y$	: 引張鉄筋降伏時曲率 ( $1/\text{cm}$ )
$D$	: 引張・圧縮フランジの芯々間距離 ( $\text{cm}$ )
$M_u$	: 全塑性モーメント ( $\text{kgf} \cdot \text{cm}$ )
$X_{nu}$	: 全塑性モーメント時の圧縮縁から中立軸までの距離 ( $\text{cm}$ )

図2 J E A Gのスケルトンカーブ<sup>1)</sup>

#### 3.2 単調一方荷試験におけるスケルトンカーブの変化

VM 試験で得られた層せん断力と水平変形の関係を図3に示す。この試験は、ひずみ速度を一定に保ちながらアクチュエータで単調一方荷したものであり、一方荷高速載荷試験では試験体ごとにひずみ速度は、0.01~0.1rad/sec の範囲で変化させている。

この図から、以下の傾向を読みとることができる。

- ・静的載荷試験時の層せん断力 (荷重) が最も低い。
- ・高速載荷試験では、変形が同じでも荷重は高くなる。
- ・初期剛性と変形能力は載荷速度の影響を受けていない。

これらより、静的試験に基づくスケルトンカーブは、ひずみ速度に応じて各折点の荷重値が高くなるが、初期剛性と各折点の変形値はひずみ速度の影響を受けないとみなした。

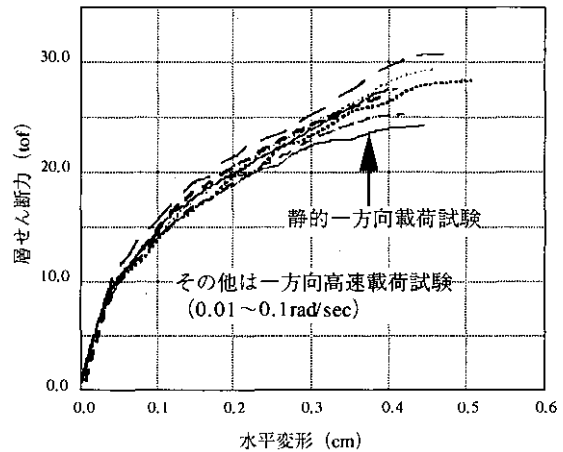


図3 VM (同じ試験体) の層せん断力~水平変形関係

#### 3.3 ひずみ速度と平均ひずみ速度の定義

本研究では質点系動的解析モデルへの適用を容易にするため、層間変形角 (上層と下層の相対水平変形を高さで除したものを) を部材 (耐震壁) 内の平均的なひずみとみなし、その時間微分値をひずみ速度と定義した。しかしながら、動的試験では荷重-変形関係の各グループにおいて変形最大時近傍のひずみ速度は図4の例に示されるようにほぼゼロに近い、非常に小さな値である。

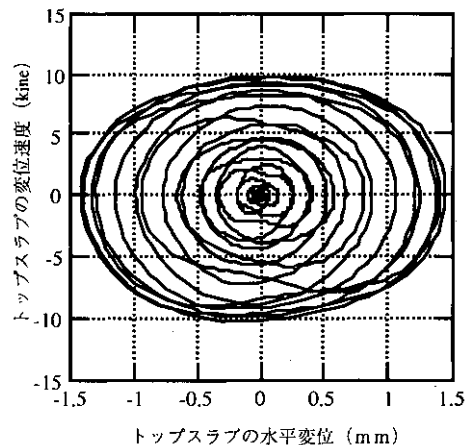


図4 速度と変形の履歴例 (DD1)

ある半ループを取り出してみると、ループの頂点近傍の強度上昇は、荷重がゼロ近傍の最大ひずみ速度の影響を受けると考えることができよう。しかしながら、デジタル値の試験データを整理してい

く上で最大値は局所的な値になる場合もあることから、より安定した評価基準が必要である。そこで、本研究では図5に示すように、各半ループごとに荷重がゼロから最大となる迄の上り1/4ループ内のひずみ速度の平均値を求め、これをループの平均ひずみ速度として定義し、強度上昇の評価指標とした。

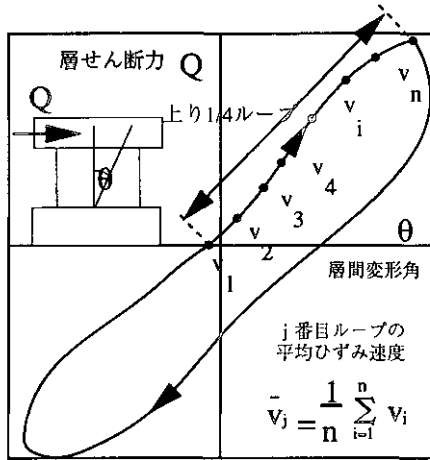


図5 平均ひずみ速度 $\bar{v}_j$ の定義

### 3.4 変形分離

J E A G<sup>9)</sup>に掲載されているスケルトンカーブは、せん断応力-せん断ひずみ ( $\tau-\gamma$ ) 関係と曲げモーメント-曲率 ( $M-\phi$ ) 関係で定義されているので、データ整理もせん断変形と曲げ変形に分離して評価した。変形分離の方法を図6に示す。曲げ変形 $\delta_B$ は、両側のフランジ壁に取り付けられた区間変位計の差の曲率を集計し、せん断変形 $\delta_S$ は全体水平変形 $\delta$ から $\delta_B$ を差し引いたものとした。M- $\phi$ 関係の評価の際には壁脚部鉄筋の抜けだしによる回転変形 $\delta_R$ を除外するため、壁脚部の区間変位計のデータを除いた曲げ変形 $\delta_F$ を用いることとした。

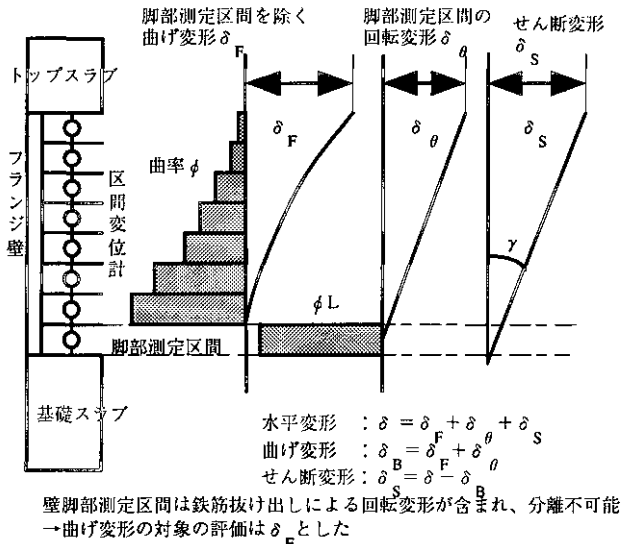


図6 変形分離方法

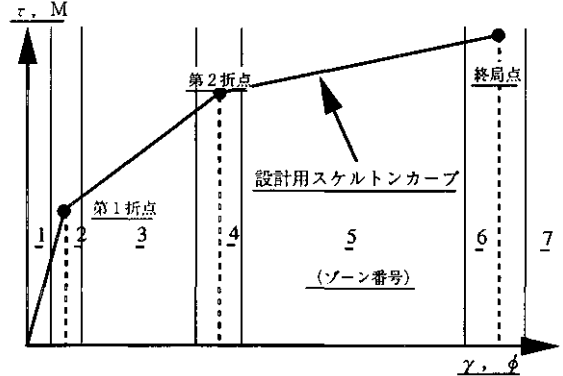
### 3.5 評価で取り扱うデータ

スケルトンカーブの変動の評価に用いるデータは、過去の荷重と変形の最大値を同時に更新しているデータ(包絡形状を構成するデ

ータ)だけを対象とした。ただし、最大値更新の有無を判定する荷重および変形の更新は正側と負側をそれぞれ別個に評価した。

個々の試験体は、コンクリートの試験時圧縮強度、鉄筋降伏強度などの材料定数は勿論のこと、軸力条件、および試験体寸法も異なっている。この影響を除去するため、個々の試験で得られた荷重値を試験体の諸元を用いたJ E A Gのスケルトンカーブの荷重値(試験で得られた各変形値における荷重値を折点座標から線形補間する)で除して基準化して「荷重比」を求め、多くの異なる試験体のデータを並列的に取り扱うこととした。

また、本研究ではJ E A Gスケルトンカーブの各折点の荷重値と平均ひずみ速度の関係を示式化することを目的としているので、対象とした荷重比データを図7のように、変形レベルに応じてゾーニングして区分し、それぞれのゾーンにおいて平均ひずみと折点荷重値の関係を整理することとした。



- ゾーン1：原点から第1折点-10%まで
- ゾーン2：第1折点近傍±10%
- ゾーン3：ゾーン2とゾーン4の間
- ゾーン4：第2折点近傍±10%
- ゾーン5：ゾーン4とゾーン6の間
- ゾーン6：終局点±10%
- ゾーン7：終局点+10%以上

図7 変形レベルのゾーニング

## 4. 動的効果の有無に対する検討

### 4.1 静的基準荷重比

静的試験の荷重比は、7つのゾーンごとに分けて中央値と対数標準偏差を求めた。これは荷重比の確率分布が正規分布より対数正規分布に近いと判断したためである。図8に確率分布の一例を示す。

表2には、各ゾーンのデータ数、中央値および対数標準偏差を示す。以降、このゾーンごとの中央値を静的基準荷重比と呼ぶこととする。

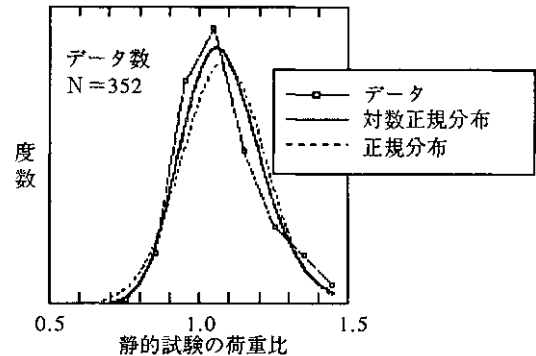


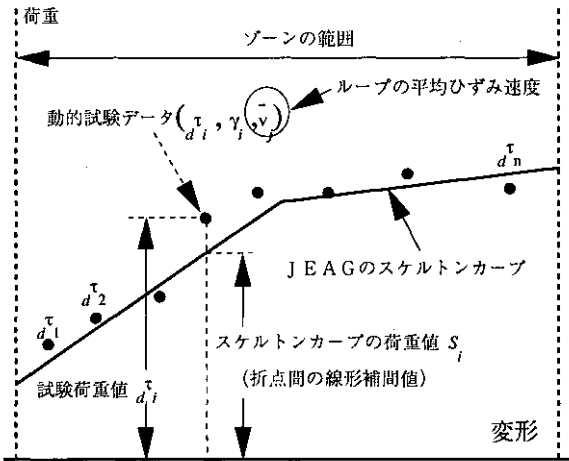
図8 静的試験の荷重比の確率分布(せん断ゾーン5)

表2 静的試験の荷重比の統計値

ゾーン	τ-γ 関係			M-φ 関係		
	データ数	中央値	対数標準偏差	データ数	中央値	対数標準偏差
1	157	0.835	0.301	336	1.531	0.647
2	29	0.742	0.119	28	0.878	0.253
3	119	0.873	0.170	169	0.751	0.210
4	22	1.031	0.142	64	0.664	0.155
5	352	1.037	0.123	108	0.814	0.196
6	45	1.046	0.097	9	0.608	0.116
7	2	0.966	0.001	12	0.644	0.074

4.2 動的効果係数

動的試験のデータ整理方法を図9に示す。動的試験の荷重比も静的試験と同様に7つのゾーンに分離するが、静的試験の荷重比と異なり、それぞれに所属する半ループの平均ひずみ速度が与えられている。次に、そのゾーンの静的基準荷重比で除して、これを動的効果係数と呼ぶこととした。



$$\text{動的試験の荷重比 (平均ひずみ速度の関数)} = \frac{d_i(v_i)}{s_i} \quad \gamma = \gamma_i$$

$$\text{動的効果係数} = \frac{\text{動的試験の荷重比}}{\text{静的基準荷重比 (中央値)}}$$

図9 動的試験データの整理方法と動的効果係数

この動的効果係数を縦軸に、平均ひずみ速度を横軸にし、さらに、静的試験の荷重比のばらつきの範囲 (95%信頼区間) を同時に示したものを図10および図11に示す。

動的効果係数が平均ひずみ速度に応じて1.0より大きくなり、かつその分布が静的試験のばらつきの範囲を超えている場合に、平均ひずみ速度の影響があるとの判断基準を設けた。初期剛性は、ゾーン1がほぼ95%信頼区間内にばらついていることと、図3のVM試験の傾向から、平均ひずみ速度の影響を受けないものと判断した。

せん断のゾーン3~6では、動的効果係数が静的試験のばらつきの範囲を超えて分布しており、平均ひずみ速度の影響が見られる。

曲げ変形は、試験体のせん断スパン比小さい(0.8)ことと、脚部鉄筋抜けだし成分も除去していることから、せん断変形に比較して非常に小さい。また曲げ成分は平均ひずみ速度と荷重値の明確な関

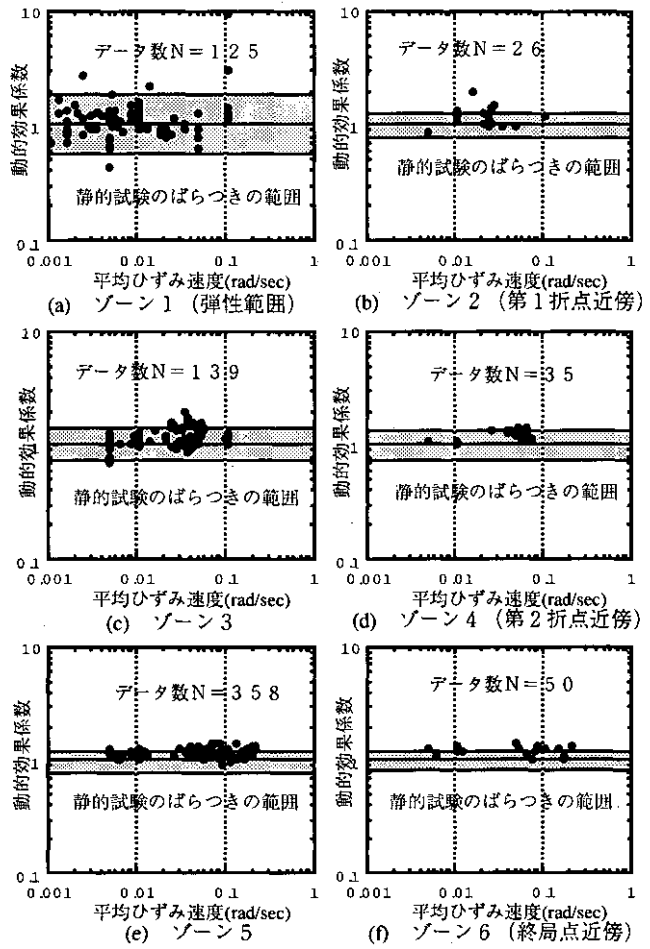


図10 動的効果係数と平均ひずみ速度の関係 (せん断)

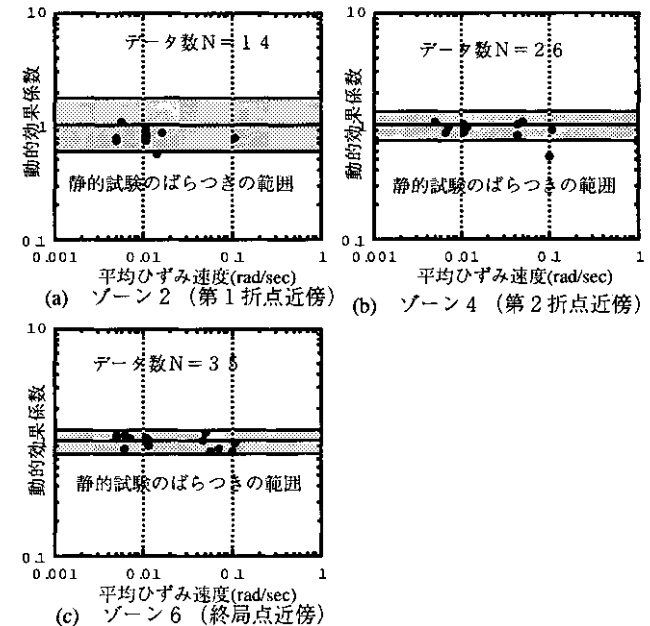


図11 動的効果係数と平均ひずみ速度の関係 (曲げ)

係は現れなかった。

以上のことから、解析用スケルトンカーブを構築する上では、τ-γ関係スケルトンカーブの第2折点荷重値と第3折点荷重値に平均ひずみ速度の影響を考慮することとした。

5. 動的スケルトンカーブ ( $\tau-\gamma$  関係) の提案

せん断 ( $\tau-\gamma$  関係) スケルトンカーブの第2折点荷重と終局点荷重と平均ひずみ速度関係を定式化するため、ゾーン3~6において平均ひずみ速度と動的効果係数の回帰分析を行った。この際、静的載荷相当の平均ひずみ速度で動的効果係数を1.0 (X切片) とし、両対数軸上で線形とする回帰式を採用した。ここで、X切片は  $1.0 \times 10^{-6} \text{rad/sec}$  と設定したが、1/1000rad 進めるのに約17分かかる載荷速度であり、地震時の平均ひずみ速度と比較すれば工学的には静的載荷とみなすことができよう。回帰分析結果を図12に示す。

両対数軸上の傾きは、第1折点~第2折点付近のゾーン3では0.015、ゾーン4~6 (第2折点から終局点の範囲) はほぼ同じ傾き

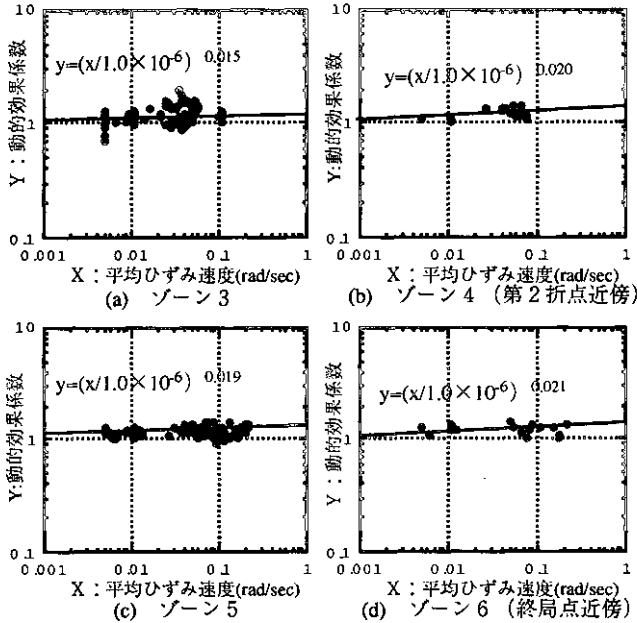


図12 動的効果係数と平均ひずみ速度の回帰分析

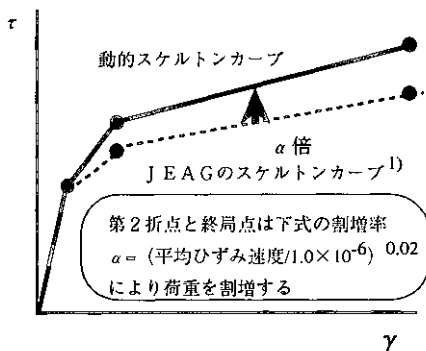


図13 動的スケルトンカーブ ( $\tau-\gamma$  関係)

表3  $\tau-\gamma$  関係第2折点と終局点の割増率

平均ひずみ速度 (rad/sec)	割増率 $\alpha$	平均ひずみ速度 (rad/sec)	割増率 $\alpha$
0.001	1.15	0.015	1.21
0.002	1.16	0.020	1.22
0.003	1.17	0.030	1.23
0.004	1.18	0.040	1.24
0.006	1.19	0.060	1.25
0.010	1.20	0.100	1.26

0.02 となった。これらのことと、初期剛性がひずみ速度の影響を受けないことを考慮して、 $\tau-\gamma$  関係の動的スケルトンカーブを図13のように設定した。

提案式による平均ひずみ速度と割増率の関係の具体的な数値は、表3に示す通り割増率は1.15~1.26であり、2割程度荷重値が上昇するという結果が得られた。

6. 適用範囲

本研究で評価対象とした平均ひずみ速度の範囲は、原子力発電所建屋に設計用地震動が作用した際に耐震壁に生じる平均ひずみ速度レベルを包括する  $0.001 \text{rad/sec} \sim 0.1 \text{rad/sec}$  である。したがって、衝撃荷重時に生じる超高速のひずみ速度が作用した場合の挙動を評価するには適用範囲外である。

回帰分析に用いたX切片  $1.0 \times 10^{-6}$  は、工学的に静的載荷とみなせる載荷速度であれば一義的に決める必要はない。仮に  $1.0 \times 10^{-7}$  (1/1000rad 進めるのに2時間46分) を用いて回帰分析すると、ゾーン4~6の指数部は0.016~0.017に下がるものの、その式を用いた割増率の値は、提案式を用いた割増率とほとんど変わらない。このことから、指数部が単純な0.02となるX切片  $1.0 \times 10^{-6}$  を用いた回帰分析結果を提案式として採用した。

7. まとめ

以下に、本研究により得られた結論と展望を示す。

1. 初期剛性には平均ひずみ速度の影響はみられなかった。
2.  $\tau-\gamma$  関係スケルトンカーブは、第1折点を超えてから終局点迄の荷重値が平均ひずみ速度の影響を受けて上昇する。
3. 動的スケルトンカーブとして、J E A Gの $\tau-\gamma$  関係スケルトンカーブの第2折点荷重値と終局点荷重値に割増率を乗じる形式で提案した。その割増率は15%~26%であり、平均ひずみ速度との関係を回帰分析により定式化した。
4. 曲げ成分では平均ひずみ速度の関係は得られなかった。対象としている原子炉建屋耐震壁の場合には $\tau-\gamma$  関係が支配的であることも考慮し、解析用M- $\phi$  関係スケルトンカーブには平均ひずみ速度の影響を見込まないこととした。
5. この結果を直接時刻歴解析に適用すると、上り1/4ループの平均ひずみ速度と動的スケルトンカーブは互いに依存するので収束計算が必要となる等、解析が複雑化する。筆者らは、本提案をもとに実用的にひずみ速度の影響を考慮できる解析方法を提案している<sup>30)</sup>ので、詳細はこちらを参照されたい。
6. 解析用の復元力特性モデルは、スケルトンカーブと履歴ループで定義される。履歴ループおよび塑性時の減衰性能に関する検討結果は後日報告する予定である。

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)、神田順教授 (東京大学)、久保哲夫教授 (名古屋工業大学)、瀧口克己教授 (東京工業大学)、岡村甫教授 (東京大学)、森田司郎教授 (京都大学)、

芳村学助教授（東京都立大学）の諸先生方を始めとする弾塑性分科会委員各位、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、福田泰夫博士、竹内洋一郎氏（清水建設）および兼近稔氏（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、JEA4601-1991 追補版、pp80-81、1991.12
- 2)岩井哲、吉田望、中村武、若林實：構造部材の挙動に及ぼす荷重速度の影響に関する実験的研究（その1 コンクリートと鋼材応力-ひずみ関係に及ぼすひずみ速度の影響）、日本建築学会論文報告集、第314号、pp102-111、1982.4
- 3)睦好宏史、町田篤彦：動的外力を受ける鉄筋コンクリート部材の力学的特性に関する研究、土木学会論文集、第354号/V2、pp.81-90、1985.2
- 4)藤井栄、野村祥一、大上実、森田司郎：鉄筋コンクリート柱の挙動に及ぼす荷重速度の影響（その1、2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.411-414、1986.8
- 5)藤本盛久、和田章ほか：高速荷重を受ける鉄筋コンクリート柱に関する実験的研究（その1～12）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1987～1991
- 6)中西三和、小池正昭、安達洋：鉄筋コンクリート造柱の力学的特性に及ぼす荷重速度の影響に関する研究（その1、2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp167-170、1991.9
- 7)藤本盛久、市橋重勝、和田章、島崎和司、坂田弘安：地震時に生じる層間変位速度を考慮した水平力を受ける鉄筋コンクリート柱に関する実験研究、日本建築学会大会構造系論文報告集、第442号、pp.111-121、1992.12
- 8)細矢博、安部勇、岡田恒男、北川良和：鉄筋コンクリート部材の耐力と破壊性状に及ぼすひずみ速度の影響に関する研究—材料実験と高軸力が作用する柱部材の水平加力実験—、コンクリート工学論文集、第4巻第2号、pp.43-56、1993.7
- 9)細矢博、安部勇、岡田恒男、北川良和：鉄筋コンクリート部材の耐力と破壊性状に及ぼすひずみ速度の影響に関する研究—せん断破壊型柱部材の静的及び動的加力実験—、コンクリート工学論文報告集、第5巻第1号、pp39-49、1994.1
- 10)細矢博、岡田恒男、北川良和、中笠良昭、隈澤文俊：ひずみ速度の影響を考慮したファイバーモデルによる鉄筋コンクリート部材の断面解析、建築学会構造系論文集、第482号、pp.83-92、1996.4
- 11)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、1995.3
- 12)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
- 13)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
- 14)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
- 15)岡田恒男、神田順、秋野金次、表佑太郎、遠藤文明：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その2 ひずみ速度試験のうち一方向荷重試験）、建築学会大会学術講演梗概集No.2610、pp1219-1220、1988.10
- 16)遠藤文明、岡田恒男、秋野金次、小池健仁：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その3 ひずみ速度試験のうち正負繰り返し荷重試験）、建築学会大会学術講演梗概集No.2628、pp1055-1056、1989.10
- 17)犬飼伴幸、岡田恒男、中村誠、長嶋俊雄、井上範夫：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その4 減衰性能試験のうち動的試験）、建築学会大会学術講演梗概集No.2529、pp1057-1058、1989.10
- 18)丸田誠、岡田恒男、秋野金次、井上範夫：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その5 減衰性能試験のうち静的強制変位試験）、建築学会大会学術講演梗概集No.2530、pp1059-1060、1989.10
- 19)小池健仁、柴田明德、久保哲夫、遠藤文明、秋野金次：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その6 ひずみ速度試験・結果の評価I）、建築学会大会学術講演梗概集No.2685、pp1369-1370、1990.10
- 20)遠藤文明、柴田明德、久保哲夫、小池健仁、中村誠：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その7 ひずみ速度試験・結果の評価II）、建築学会大会学術講演梗概集No.2686、pp1371-1372、1990.10
- 21)長嶋俊雄、柴田明德、久保哲夫、木村秀樹、秋野金次：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その8 減衰性能試験のうち仮動的試験）、建築学会大会学術講演梗概集No.2687、pp1373-1374、1990.10
- 22)丸田誠、柴田明德、久保哲夫、井上範夫、中村誠：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その9 減衰性能試験のうち動的試験と静的強制変位試験の比較）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2688、pp1375-1376、1990.10
- 23)井上範夫、柴田明德、久保哲夫、長嶋俊雄、秋野金次：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その10 減衰性能の検討）、建築学会大会学術講演梗概集No.2688、pp1375-1376、1990.10
- 24)丸田誠、柴田明德、久保哲夫、長嶋俊雄、秋野金次、鈴木敏夫：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その11 終局応答試験：試験の概要）、建築学会大会学術講演梗概集No.2780、pp1559-1560、1993.9
- 25)内山義英、柴田明德、神田順、五十嵐克也、平隆臣：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その12 終局応答試験：試験の結果）、建築学会大会学術講演梗概集No.2781、pp1561-1562、1993.9
- 26)平隆臣、柴田明德、神田順、関松太郎、杉山公一、小林淳：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その13 復元力特性確認試験の概要）、建築学会大会学術講演梗概集No.2782、pp1563-1564、1993.9
- 27)関松太郎、柴田明德、久保哲夫、佐野剛志、是永健好、秋野金次：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その14 復元力特性確認試験のうち、R B シリーズの仮動的試験）、建築学会大会学術講演梗概集 No.2783、pp1565-1566、1993.9
- 28)島崎和司、柴田明德、久保哲夫、関松太郎、小林淳、平隆臣：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その15 復元力特性確認試験のうち、R A、R C シリーズの仮動的試験）、建築学会大会学術講演梗概集 No.21506、pp1011-1012、1995.9
- 29)杉山公一、柴田明德、神田順、佐野剛志、是永健好、秋野金次：原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験（その16 復元力特性確認試験のうち、R A、R B、R C シリーズの静的試験）、建築学会大会学術講演梗概集 No.21506、pp1011-1012、1995.9
- 30)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原子炉建屋耐震壁の弾塑性地震応答解析法、建築学会構造系論文集、投稿中、1997.5に掲載予定

(1996年9月9日原稿受理、1997年3月28日採用決定)