微小荷重載荷による鉄筋コンクリート柱部材の履歴損傷 の推定方法の適用性に関する実験的研究[†]

加 納 昌 男* 平 澤 征 夫**

Experimental Study on the Applicability of Estimation Method of Experienced Damages of R/C Column Members by Small Load Increment

by

Masao KANO^{*} and Ikuo HIRASAWA^{**}

This paper presents the applicability of an estimation method for the experienced maximum load and displacement responses by small load increment. For the expansion of the proposed method, three reinforced concrete column specimens were tested under dynamic loading and a comparatively large scale specimen was tested under static reversed cyclic loading. The test results indicated that the relationships between the secant stiffness under the small load increment and the equivalent secant stiffness corresponding to the maximum experienced response were represented by a logarithmic function. They also indicated that the relationships between the displacement caused by small load increment and the experienced maximum displacement of the damaged columns were expressed by an exponential function. From the test results the applicability of the proposed method were examined. As a result, it was found that the proposed method was applied to specimens under dynamic loading and comparatively large scale specimens under static reversed cyclic loading. However, furthermore experimental and analytical studies are needed to establish a more reliable estimation method.

Key words : Reinforced concrete column, Load-displacement relationship, Damage estimation method, Small load increment

1 緒 言

著者らは、鉄筋コンクリート柱部材が地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合の動的損傷という比較的新しい困難な問題を既報¹⁾では取り扱った。当初の予想に反して、自由振動試験による振動数の変化に基づく損傷度の定量化とその評価に関して明確な結論は得られなかった。この理由として、用いた供試体の形状や載荷方法など損傷に与える他の要因の影響が大きく現れたためであると考えられた。しかし、古澤²⁾らの研究では、動的損傷の評価方法として、動的損傷を受けた後に実施した自由振動試験による振動数の変化を用いる方法よりも、入力波形の種類の影響の違いが現れる点で、振動台試験の結果に基づいた曲げ剛性の変化を用いる方法の方が、信頼性が高いと報告している。

一方、橋脚などのような鉄筋コンクリート構造物の耐震性能を把握するには、構造部材および構造物系全体の動的載荷試験を行うことが必要不可欠であると考えられる。しかし、動的載荷試験を行う際の設備と費用面からの制約や相似則に基づく物理的な面^{3), 4)}での困難さにより、従来から、小型模型部材による静的な繰返し漸増荷重実験が数多く行われてきた。ところが、断面寸法が100×100 (mm) 程度で、軸方向鉄筋を各四隅に1本だけ配置したような小型模型供試体では、コアコンクリートに

損傷が生じた段階から耐力の低下が著しくなり、実構造物の挙動とは異なる傾向を示すことが指摘されている。⁵⁾

したがって、前報⁶⁾で提案した微小荷重載荷の結果を用いて RC 正方形断面柱の履歴最大応答変位および荷重を推定する方法の適用範囲を拡張、実用の可能性を高めるためには、以下のような2ケースの場合に対するこの推定方法の適用性を検証しておくことが重要であると考えられる。すなわち、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合、およびコンクリート標準示方書(土木学会)の構造細目⁷⁾に準拠した比較的大型な供試体の2ケースの場合である。

以上より、本研究では、前報⁶⁾で提案した微小荷重載荷の結果を用いて RC 正方形断面柱の履歴最大応答変位および荷重を推定する方法の、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合、およびコンクリート標準示方書(土木学会)の構造細目⁷⁾に準拠した比較的大型の供試体の2ケースの場合に対する適用性を確かめることを目的とした。具体的には、まず、前報⁶⁾で提案した推定方法の基となる定式化した剛性関係(RC 正方形断面柱の等価剛性と微小荷重載荷による剛性の関係)および変位関係(RC 正方形断面柱の履歴最大応答変位と微小荷重載荷による変位の関係)を用いて、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合、および比

[†] 原稿受理 平成9年9月29日 Received Sep. 29, 1997

* 正 会 員 (株)中目コンサルタント 〒505-0046 美濃加茂市西町, Chunichi Consultant Co. Ltd., Nishi-machi, Minokamo, 505-0046

** 正 会 員 中部大学工学部土木工学科 〒487-8501 春日井市松本町, Dept. of Civil Eng., Chubu Univ., Matsumoto-cho, Kasugai, 487-8501

Fig. 1. Response wave of acceleration (ET93-22-10).

Fig. 2. Small load increment.

較的大型の供試体の2ケースの場合に対する適用性を確かめる。次に、鉄筋コンクリート柱の荷重～変位包絡線の実験結果と比較し、提案した推定方法の適用性について検討した結果について述べる。

2 動的外力を受ける場合に対する推定方法の適用性の検討

2.1 推定方法⁶⁾

本研究で用いる推定方法は前報⁶⁾で提案した方法と基本的には同じである。Fig. 1 (a)～(b)に、RC正方形断面柱が地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合の柱頂部の加速度と変位の応答波形を示す。Fig. 1 (a)～(b)に示したように、実際の地震加速度波形入力によって得られた加速度と変位の応答波形に基づく荷重～変位包絡線上の履歴最大応答荷重 (Y) は、部材の等価剛性 (E) と履歴最大応答変位 (X) の積で表示する。

すなわち、

$$Y = E \cdot X \quad (1)$$

上式中の E と X を推定するために、微小荷重載荷による剛性 (e) と変位 (Δx) を用い、剛性関係は対数式の形として

$$E = A \cdot \ln(e) - B \quad (2)$$

また、変位関係は指数式の形として

$$X = C \cdot \Delta x^D \quad (3)$$

を仮定する。ここで、式 (2)、式 (3) 中の係数 A , B , C

Fig. 3. Dimension and reinforcing details of test columns.

および D は定数とする。

2.2 実験概要

実験に使用した供試体の形状寸法を Fig. 3 に示す。断面は 150×150 (mm)、軸方向鉄筋に D10mm を 8 本、帯鉄筋間隔は 100mm、柱高さは 1440mm とした。地震波の作用方向による影響を調べるために Fig. 4 のように供試体断面に対して波形の入力角度を 0° , 22.5° , 45° の 3 方向とした。なお、Table I に実験に使用した合計 3 体の供試体名を示す。

供試体記号の最初の文字 E は El Centro (NS) 地震波形を用いた振動台試験機による載荷であることを示す。次の文字 T は振動台試験であることを示す。そして、次の 2 文字 93 は試験年度を示し、次の 2 文字 00, 22, 45 はそれぞれ載荷方向の角度 0° , 22.5° , 45° を示す。なお、以下、試験年度別に ET93 シリーズと総称する。また、比較のため、前報⁶⁾で行った静的な繰返し漸増荷重試験結果を ES93 シリーズと総称する。

Table II に、各供試体毎の試験時の材料の性質を示す。

地震波の入力は、Fig. 5 に示す振動台により実際の地震加速度入力として行い、El Centro (NS) 加速度波形⁸⁾を基準加速度 1 として用いた。載荷方法は基準加速度に対して次の加速度倍率を乗じた段階 (1/3 倍, 2/3 倍, 1 倍, 4/3 倍, ...)、すなわち、最大加速度としてはそれぞれ 113.9gal, 227.8gal, 341.7gal, 455.6gal, ...) を設定し、同一の供試体に対して漸増し、破壊するまで加振載荷した。そして、従来の試験方法と異なる点は各加速度倍率を乗じた段階の終わりに Fig. 3 に示す微小荷重 (0.390kN = 計算最大荷重の約 5% の錘) を吊して、損傷後の微小変位を計測し、この時の剛性を得ていることである。ただし、ET93 シリーズでは、微小荷重の大きさは 0.390kN の一種類とした。なお、供試体はフーチング部を 8 本の PC 鋼棒 ($\phi 32\text{mm}$) で振動台に固定し、頂部に約 9.8kN の錘を取付けた。

計測は、柱頂部の載荷方向とそれに直角な方向の応答加速度と応答変位および振動台の加速度と変位などをデ

Fig. 4. Shaking direction.

Table I. Names of specimens.

Pitch of confining steel	Shaking direction		
	0°	22.5°	45°
100mm	ET93-00-10	ET93-22-10	ET93-45-10

Table II. Details of test specimens.

Names of Specimens		ET93-00-10	ET93-22-10	ET93-45-10
Shaking direction (°)		0	22.5	45
Concrete	Compressive strength(N/mm ²)	37.0	30.7	32.3
	Tensile strength(N/mm ²)	2.03	2.09	2.64
	Modulus of elasticity(N/mm ²)	2.61×10^4	2.55×10^4	2.47×10^4
Longitudinal steel	Numbers	8	8	8
	Diameter(mm)	10	10	10
	Ultimate strength(N/mm ²)	484	484	484
	Yield strength(N/mm ²)	361	361	361
	Modulus of elasticity(N/mm ²)	1.87×10^5	1.87×10^5	1.87×10^5
Ratio of longitudinal steel (%)		2.54	2.54	2.54
Confining steel	Diameter(mm)	6	6	6
	Pitch(mm)	100	100	100
Volumetric ratio of confining steel (%)		0.86	0.86	0.86

ータレコーダーに記録した。

2・3 剛性関係式および変位関係式の適用性の検討

Fig. 6 は Fig. 1 (a)～(b) に示したような応答波形において、各載荷段階で記録した履歴の最大変位とそのときの荷重の点を結んで得られた荷重～変位包絡線である。なお、この荷重～変位包絡線は、各加速度入力段階において柱頂部に取り付けた加速度計と変位計で計測した正負の最大応答の加速度と変位の結果をそれぞれ平均して用いた。すなわち、荷重は次のニュートンの運動方程式より求め、変位はその載荷によって得られた正負の履歴最大応答変位の平均値を用いた。

$$F = m \cdot a$$

F : 荷重 (kN)

m : 供試体の質量+柱頂部に付けた錘の質量 (kg)

a : 供試体柱頂部の正負の最大応答加速度の平均 (mm/sec²)

Fig. 6 より、載荷方向 45° では他の方向に比べて最大耐力および荷重が増加していく過程での曲線の勾配がやや大きくなっていることがわかる。すなわち、載荷方向による影響が45° 方向に見られる。

Fig. 5. Test setup of shaking table test.

Fig. 6. Dynamic loading results for load-displacement envelope curves.

Fig. 7 (a)～(c) は、各載荷方向の履歴損傷の各段階において実施した微小荷重載荷によって得られた剛性と、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の等価剛性の関係を示したものである。これらの図より、微小荷重載荷による剛性 e が減少すると、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の等価剛性 E は対数曲線的に減少していることがわかる。そして、一般的傾向として、地震のような非定常な荷重である動的外力の影響により、ET93 シリーズの剛性関係曲線は、静的な繰返し漸増荷重試験結果である ES93 シリーズの剛性関係曲線に対して、やや左側にシフトする(すなわち、微小荷重載荷による剛性 e が高まる傾向がある)ことが明らかとなった。

一方、Fig. 8 (a)～(c) は、各載荷方向の履歴損傷の各段階において実施した微小荷重載荷によって得られた変位と、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の履歴最大応答変位の関係を示したものである。これらの図より、微小荷重載荷による変位 Δx が増加すると、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の履歴最大応答変位 X は指数曲線的に増加していることがわかる。そして、一般的傾向として、地震のような非定常な荷重である動的外力の影響により、ET93 シリーズの変位関係曲線は、静的な繰返し漸増荷

(a)

(c)

(b)

Fig. 7. Test results and numerical approximation for relationship between secant stiffness by small load increment and equivalent secant stiffness.

重試験結果である ES93 シリーズの剛性関係曲線に対して、微小荷重載荷による変位 Δx の増加にともなう、やや上方へシフトする（すなわち、微小変位 Δx の増加につれて、応答変位 X が大きくなる傾向がある）ことが明らかとなった。

以上のことより、剛性関係（微小荷重載荷による剛性 e と、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の等価剛性 E の関係）は、静的な繰返し漸増荷重を受けた場合と同様に、対数関数式（式 (2)）で表示できることが明らかとなった。一方、変位関係（微小荷重載荷による変位 Δx と、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた柱部材の履歴最大応答変位 X の関係）は、静的な繰返し漸増荷重を受けた場合と同様に、指数関数式（式 (3)）で表示できることが明らかとなった。

ここで、ET93 シリーズの実験結果に基づいて、式 (2) および式 (3) の式中の係数 A , B , C および D を最小 2 乗法によって回帰し、その結果を Fig. 7 (a)~(c) と Fig. 8 (a)~(c) の図中および Table III に示した。また、

Table III には、剛性関係を対数関数式（式 (2)）で表示した時の相関係数 $R1$ 、および指数関数式（式 (3)）で変位関係を表示した時の相関係数 $R2$ も示した。Table III より、剛性関係を表す対数関数式（式 (2)）および変位関係を表す指数関数式（式 (3)）中のそれぞれの係数 A , B , C および D には、多少のばらつきが見られる。また、本研究では、El Centro (NS) 地震波形のみ入力したが、これらの係数の値は地震加速度入力波形の種類による影響をも大きく受けることが予想される。今後、種々の地震加速度入力波形に関しての実験的検討（振動台実験等）および解析的検討を行い、地震加速度入力波形の種類による影響を明らかにすることにより、剛性関係および変位関係式中のそれぞれの係数を地震加速度入力波形の関数として定式化も可能であると考えられる。

2・4 推定方法の適用性の検討

Fig. 9 (a)~(c) は、Fig. 7 (a)~(c) および Fig. 8 (a)~(c) の図中に記した関係式を用いて、式 (1) により、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合の実験結果の荷重～変位包絡線を推定した結果である。Fig. 9 (a)~(c) より、載荷方向角度 0° と 22.5° では、推定した荷重～変位包絡線は最大荷重付近では多少適合性がよくないが、ひび割れ時、鉄筋が降伏する付近と終局時では比較的良好に適合することが明らかとなった。しかし、載荷方向角度 45° では、推定した荷重～変位包絡線は、全般にわたり適合性がややよくないことが明らかとなった。

以上のことより、載荷方向角度 45° に対しては適用性にやや問題が見られたが、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合に対しても、前報⁶⁾で提案した推定方法が適用可能であることが判明した。

3 比較的大型な供試体の場合に対する

推定方法の適用性の検討

3・1 検討に用いた実験データ⁹⁾

検討に用いた実験データは、中部大学材料・構造実験施設において行われた「大型プレキャスト PC パネル工

(a)

(c)

(b)

Fig. 8. Test results and numerical approximation for relationship between displacement by small load increment and experienced maximum displacement.

Table III. Coefficients numerical approximation curve for stiffness relationship and displacement relationship.

Names of specimens	Relationship of stiffness ($E=A \cdot \ln(e) \cdot B$)			Relationship of displacement ($X=C \cdot \Delta x^D$)		
	A	B	R1	C	D	R2
ET93-00-10	0.489	0.650	0.992	62.27	2.215	0.954
ET93-22-10	0.619	0.787	0.986	57.05	2.714	0.985
ET93-45-10	0.462	0.616	0.962	81.72	2.519	0.985
ES93-00-10	0.467	0.699	0.964	38.16	2.096	0.942
ES93-22-10	0.481	0.733	0.997	35.29	2.087	0.965
ES93-45-10	0.418	0.702	0.993	32.24	2.212	0.931

(4.903kN = 計算最大荷重の約 5%) を行ったことである。そして、損傷後の微小変位を計測し、この時の剛性を得ている。このような方法で微小荷重載荷を行った理由としては、大型化・高強度化した供試体の場合、最大荷重の計算値が大きくなり、この計算値に基づく微小荷重も大きくなるためである。また、微小荷重を吊す作業の場合は、作業が煩雑になり危険度も増すためである。さらに、この方法では微小荷重載荷による微振動特性を計測する必要がない。

3・3 剛性関係式および変位関係式の適用性の検討

まず、Fig. 11 に、静的な繰返し漸増荷重試験によって得られた正負交番荷重の頂点を平均した荷重～変位包絡線⁹⁾を示す。図中の点に対応する微小荷重載荷による変位と剛性は、各荷重サイクル後に計測した値を用いた。これらの結果から、前報⁶⁾で提案した推定方法の基となる定式化した剛性関係式(式(2))および変位関係式(式(3))の適用性の検討を行う。

Fig. 12 は、履歴損傷の各段階において実施した微小荷重載荷によって得られた剛性と、履歴損傷を受けた柱部材の等価剛性の関係をそれぞれ示したものである。Fig. 12 より、ES93 シリーズと同様に、微小荷重載荷による剛性 e が減少すると、履歴損傷を受けた柱部材の等価剛性 E は対数曲線的に減少していることがわかる。

したがって、微小荷重載荷による剛性 e と履歴損傷を受けた柱部材の等価剛性 E の関係である剛性関係は、ES93 シリーズと同様に対数関数式(式(2))で表示できることが明らかとなった。

法に関する研究(中部セメントコンクリート研究会構造部会・プレストレストコンクリート建設業協会)⁹⁾のうち、耐震性能に関する実験の一部である鉄筋コンクリート試験体の静的正負交番荷重実験データである。

Table IV に、本研究で用いた上記実験供試体(以下、SS96 と略称)の諸元と比較のため前報⁶⁾で行った実験供試体(以下、ES シリーズと略称)の諸元およびコンクリート標準示方書(土木学会)の構造細目⁷⁾を示した。

3・2 推定方法および微小荷重載荷の方法

推定方法は前報⁶⁾と基本的には同じであるが、微小荷重載荷の方法が異なっている。すなわち、反力壁に取り付けたアクチュエーターにより、柱供試体に静的に正負漸増繰返し荷重を加えることで累加損傷を与え、Fig. 10 に示すような荷重～変位履歴曲線⁹⁾を得ることは前報⁶⁾と同様である。しかし、前報⁶⁾で行った微小荷重載荷の方法と異なる点は、各変位サイクル段階の終わりに荷重を一度ゼロまで戻し、微小荷重を吊す代わりに、反力壁に取り付けたアクチュエーターにより微小荷重載荷

Fig. 9. Estimated result for load-displacement curve.

一方, Fig. 13 は, 履歴損傷の各段階において実施した微小荷重载荷によって得られた変位と, 履歴損傷を受けた柱部材の履歴最大応答変位の関係をそれぞれ示したものである. Fig. 13より, 微小荷重载荷による変位 Δx と柱部材の履歴最大応答変位 X の関係を指数曲線的とみなすには変位 Δx が大きい範囲でばらついていたので, どのような関数式表示が妥当かの検討を行った結果, 指数関数式 (式 (3)) による表示の方が他の関数式 (例えば, 多項式や対数式等) による表示より相関係数 $R2$ の数値も高く, 相関がよいという検討結果を得た.

したがって, ES93 シリーズと同様に, 微小荷重载荷による変位 Δx と履歴損傷を受けた柱部材の履歴最大応答変位 X の関係である変位関係は, 指数関数式 (式 (3)) で表示するのが適当であることが明らかとなった. ここで, 実験結果に基づいて, 式 (2) および式 (3) の式中の係数 A , B , C および D を最小 2 乗法によって回帰し, その結果を Fig. 12 と Fig. 13 の図中ならびに Table V に示した. また, Table V には, 剛性関係を対数関数式 (式 (2)) で表示した時の相関係数 $R1$ および指数関数式 (式 (3)) で変位関係を表示した時の相関係数 $R2$ も示した.

Table IV. Comparison of details for test specimens.

	Cross Section B×H (mm)	Column length L (mm)	Longitudinal steel			Confining steel			Longitudinal stress σ_0 (N/mm ²)
			Diameter D (mm)	Numbers N (hon)	Ratio ρ (%)	Diameter Dw (mm)	Pitch S (mm)	Ratio ρ_w (%)	
SS96	Rectangle 300 × 450	2750	D13	20	1.47	D10	150	0.32	1.82
ES series	Square 150 × 150	1440	D10	6	2.54	φ6	100	0.38	0.50
JSCE Standard Specification	B·H≥ 200	-	D≥D13	N≥4hon	0.8~6	D≥6	S≥B, S≤120, S≤48D _w	-	-

Fig. 10. Typical experienced load-displacement curve⁹⁾.

以上より, コンクリート標準示方書 (土木学会) の構造細目⁷⁾に準拠した比較的大型の供試体に対しても, 剛性関係は対数関数式 (式 (2)) で, 変位関係は指数関数式 (式 (3)) で表示でき, 前報⁶⁾で提案した推定方法の基となる定式化した剛性関係および変位関係の適用性が確認できた.

3・4 推定方法の適用性の検討

Fig. 14 は, Fig. 12 および Fig. 13 の図中に示した関係式を用いて, 式 (1) により, 実験結果の荷重～変位包絡線を推定した結果である. Fig. 14 より, SS96 では, 推

Fig. 11. Static reversed cyclic loading results for load-displacement envelope curve.⁹⁾

Fig. 12. Test results and numerical approximation for relationship between secant stiffness by small load increment and equivalent secant stiffness.

Fig. 13. Test results and numerical approximation for relationship between displacement by small load increment and experienced maximum displacement.

定した荷重～変位包絡線は最大荷重付近では多少適合性がよくないが、ひび割れ時、鉄筋が降伏する付近と終局時では比較的良好に適合することが明らかとなった。このことより、コンクリート標準示方書（土木学会）の構造

Table V. Coefficients numerical approximation curve for stiffness relationship and displacement relationship.

Names of specimens	Relationship of stiffness ($E=A \cdot \ln(e)-B$)			Relationship of displacement ($X=C \cdot \Delta x^D$)		
	A	B	R1	C	D	R2
SS96	2.135	1.011	0.936	10.59	1.298	0.955

Fig. 14. Estimated result for load-displacement curve.

細目⁷⁾に準拠した比較的大型な供試体に対しても前報⁶⁾で提案した推定方法が適用可能であることが確認された。

4 結 言

本研究は、前報⁶⁾で提案した微小荷重載荷の結果を用いて鉄筋コンクリート正方形断面柱の履歴最大応答変位および荷重を推定する方法の適用範囲を広げ、実用の可能性を確認することを目的とし、次の2つの場合について検討を行った。すなわち、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合、およびコンクリート標準示方書（土木学会）の構造細目⁷⁾に準拠した比較的大型な供試体の場合である。

限られた本数の供試体による結果であるが、本研究で得られた主な結論を以下に述べる。

(1) 静的な繰返し漸増荷重を受けた場合と同様に、地震のような非定常な荷重である動的外力を受けた場合も剛性関係は対数関数式（式 (2)）、変位関係は指数関数式（式 (3)）で表示できることが明らかとなった。しかし、これらの関数式中のそれぞれの係数 A 、 B 、 C および D は、地震加速度入力波形の種類等による影響を受けると考えられる。今後、地震加速度入力波形の種類等に関して検討することにより、提案した推定方法の基となる特性である剛性関係式（式 (2)）および変位関係式（式 (3)）中のそれぞれの係数を、地震加速度入力波形の種類等の関数として定式化する必要がある。

(2) 剛性関係曲線および変位関係曲線に及ぼす地震のような非定常な荷重である動的外力の影響を検討した結果、静的な繰返し漸増荷重試験による剛性関係曲線および変位関係曲線に比べて、左側ヘシフトする傾向（すなわち、微小荷重載荷による剛性が高まる傾向）、および上側ヘシフトする傾向（すなわち、微小荷重載荷による変

位の増加につれて応答変位が大きくなる傾向)にあることが認められた。

(3) 地震のような非定常な荷重である動的外力を受ける場合に対する前報⁶⁾で提案した推定方法の適用性は、最大荷重付近および載荷方向角度 45° に対してややよくなかったが、適用できることが確認された。

(4) コンクリート標準示方書(土木学会)の構造細目⁷⁾に準拠したような比較的大型な供試体の場合にも、剛性関係は対数関数式(式(2))、変位関係は指数関数式(式(3))で表示でき、前報⁶⁾で定式化した推定方法の基となる剛性関係式(式(2))および変位関係式(式(3))が適用可能であることが確認された。

(5) コンクリート標準示方書(土木学会)の構造細目⁷⁾に準拠したような比較的大型な供試体の場合にも、推定した荷重～変位包絡線は最大荷重付近では多少適合性がよくないが、ひび割れ時、鉄筋が降伏する付近と終局時では比較的良好に適合することが明らかとなり、前報⁶⁾で提案した推定方法が適用可能であることが確認された。

微小荷重載荷により損傷度を推定する方法は、比較的容易な方法であり、RC 構造物の一次損傷度評価方法として有効な方法であると考えられる。しかし、現状では検討項目が少なく、微小荷重載荷による損傷度の推定方法の適用範囲は限られている。このため、微小荷重載荷による損傷度の推定方法の適用範囲を拡げる一方で、さらに、実用性を高めていく必要がある。以下にその問題点を列挙する。

(1) 断面形状や載荷形式等が異なる供試体と比較するために、微小荷重載荷による損傷度の推定方法を何らかの方法で無次元化する必要がある。

(2) 実構造物の損傷度を微小荷重載荷により推定するために、推定方法の基となる剛性関係式(式(2))および変位関係式(式(3))を解析により、精度よく求める必要がある。

本研究は、中部大学総合工学研究所平成 5・6 年度研究費によって行なわれたものである。また、中部セメントコンクリート研究会構造部会およびプレストレストコンクリート建設業協会によって行なわれた「大型プレキャスト PC パネル工法に関する研究(報告書)」のデータを引用させて頂いた。ここに記して深謝いたします。また、実験には、中部大学材料・構造実験施設の設備を利用させて頂いた。使用に当たり、施設技術員である帆山公郎、駒田尚一氏の両氏には大変お世話になった。ここに記して深謝いたします。さらに、実験に多大な協力を頂いた平澤研究室卒業生、大学院生諸君をはじめ、関係各位に深謝します。最後に、本研究の遂行に当たり、有益な助言を頂いた山田善一京都大学名誉教授(現中部大学工学部土木工学科教授)に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 加納昌男, 平澤征夫, 材料, **45**, 1042 (1996).
- 2) 古澤誠司, 平澤征夫, 伊藤和幸, 土木学会論文集, 第 **433** 号/V-15, 51 (1991).
- 3) 江守一郎, “模型実験の理論と応用”(1973) 技報堂.
- 4) Harry G.Harris, “Dynamic Modeling of Concrete Structures”, SP-73 (1973) ACI.
- 5) 幸左賢二, 小林和夫, 村山八洲雄, 吉澤義男, 土木学会論文集, 第 **538** 号/V-31, 47 (1996).
- 6) 加納昌男, 平澤征夫, 材料, **46**, 531 (1997).
- 7) (社)土木学会, 平成 8 年制定 コンクリート標準示方書設計編 (1996).
- 8) “STRONG MOTION EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS”, 71-50, EERL, CIT (1971).
- 9) 中部セメントコンクリート研究会構造部会, “プレストレストコンクリート建設業協会, 大型プレキャスト PC パネル工法に関する研究(報告書)” (1997).