

RC柱部材の圧縮強度と載荷速度に関する基礎実験

近 藤 崇*・澤 田 知 之**・木 田 哲 量***
能 町 純 雄****

Study on Basic Experiment of Relation Between Compressive Strength of Reinforced-concrete Columns and Loading-rate.

Takashi KONDO, Tomoyuki SAWADA, Tetsukazu KIDA and Sumio G. NOMACHI

要 旨

これまでに行った一連の実験結果より、試験機からの載荷速度を一定に保ち、コンクリートと鋼材に同時に圧縮荷重を載荷すると、性質の違いから、載荷荷重は一定に分担されず時間と共に増減することが確認された。そこで、本研究では、RC柱部材に於いて時間と共に変化する荷重分担の過程および、これにより変化する載荷速度による破壊過程を確認するための基礎実験を行いまとめたものである。

Abstract

When concrete and steelbar compressed to keep loading rate, It couldn't take charge of compression cause difference between each other's characteristics and the change in load.

This paper studies on confirming a process of taking charge of compression and failure by a basic experiment, In case of compressed concrete and steelbar at the time.

1. ま え が き

1995年の兵庫県南部地震等の天災による被害や交通量の急激な増加、車両重量や積載量の増加により、設計時に想定した限界状態以上の様々な外力が加わることによる構造物へのダメージは、無視することはできない。それ故、構造物を構成する主な材料である、コンクリートや鋼材を用いた部材が外部から何等かの力を受けた際の正確な挙動を把握することが極めて重要であると考えられる。

現在、鉄筋コンクリート（以下、RCと記す）梁やRC柱部材等複合材料に対する実験・研究は数多く行われている。

一般に、構造物は異なる性質を持つものからなる複合部材からなり、同一条件のもとで作成された部材においても、構造物の使用目的による形状や使用箇所によって、強度や破壊過程が異なることも広く知られている。また、荷重の載荷速度の

違いが、部材強度に及ぼす影響も報告されている。

これまでに報告されているコンクリートの載荷速度に関する研究は、実験の終始に渡り単一の速度で行い、その速度を変化させて行ったものが殆どである。しかし、RC部材は、性質の異なる材料からなっていることから、荷重が載荷された場合には、荷重分担は一定とならず時間と共に変化する。分担の過程は、コンクリートの強度、鉄筋・鋼材等の材質によって変化すると考えられる。

そこで、本研究は、RC柱部材の圧縮強度と載荷速度の関係を解析する基礎実験として、コンクリートおよび鋼材を独立した状態で、同時に圧縮力を与えた場合のコンクリートの挙動を把握するために、破壊緩和装置を用いた圧縮実験を行った結果を考察したものである。

2. 理 論

2. 1 Duffing型応力-ひずみ関係

本研究において、ひずみに対して応答する復元応力は全区間において非線形を示すものとして考えることとし、連続関数によって応力-ひずみ関

* 助 手 環境都市工学科

** 教 授 環境都市工学科

*** 教 授 日本大学

**** 名誉教授 北海道大学

係を表現するDuffing型応力－ひずみ理論式を用い適合性を検討する。

$$\sigma = E \left[\varepsilon - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2} \right] \quad (1)$$

式(1)は、初期接線弾性係数Eと最大応力発生時のひずみ値 ε_0 をパラメータとし、応力 σ が最大応力発生時のひずみ値 ε_0 において極値をとる関数である。また、この関数を表したものを図1に示す。

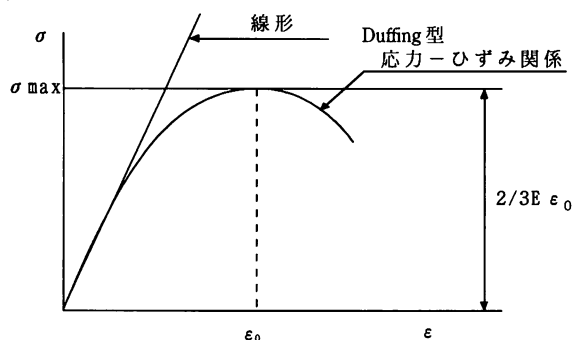


図1 Duffing型応力－ひずみ関係

ここで、応力－ひずみ関係を表した式(1)がDuffingの振動方程式における復元力の関係と同様に3次の奇数べき級数により表されることから、Duffing型応力－ひずみ関係と称している。

2. 2 RC柱部材の解析

コンクリートの応力－ひずみ関係を3次の非線形構成式であるDuffing型応力－ひずみ関係とし、鋼材の応力－ひずみ関係はフックの法則に従う線形関係として解析を行う。そこで、載荷荷重とひずみの関係は式(2)として表される。

$$P = A_c E_c (1 + pn) \left[\varepsilon - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2 (1 + pn)} \right] \quad (2)$$

$$\text{ここで, } pn = \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{E_s}{E_c}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_c = \varepsilon_s$$

ε_s : 鋼材のひずみ

ε_c : コンクリートのひずみ

A_s : 鋼材の断面積

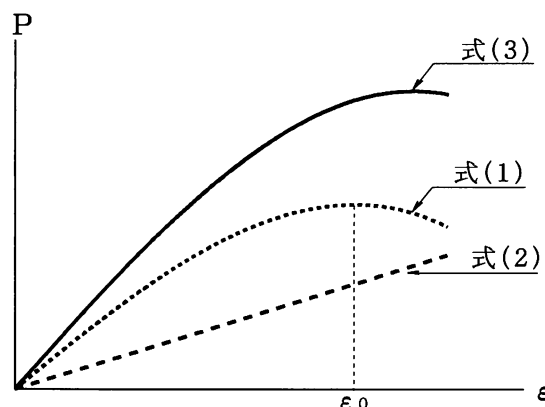
A_c : コンクリートの断面積

E_s : 鋼材の弾性係数

E_c : コンクリートの弾性係数

ε_0 : コンクリートの最大応力発生時のひずみ

また、図2に荷重－ひずみ関係図を示す。同図は、部材直径 $D = 15\text{cm}$ 内に鉄筋(D10)を6本配置したものを想定した場合である。



柱部材($d=15\text{cm}$)において

柱の断面積 ($A_c = 176.71\text{cm}^2$)
 コンクリートの有効断面積 ($A_e = 84.95\text{cm}^2$)
 鉄筋(6-D10)の有効断面積 ($A_{st} = 4.28\text{cm}^2$)
 の場合

図2 RC柱部材の荷重－ひずみ関係

式(2)の解析式は、基本となる式であり、付着応力等の種々の問題は考慮していない。また、本研究の目的である載荷速度による耐荷力に関する考慮もしていないものである。今後、上式(2)を基にして、種々の問題を考慮したものへと発展させる予定である。

3. 実験方法

3. 1 実験概要

本実験では、以下の項目について検討を行うこととした。

- 1) 載荷中に載荷速度が徐々に低下した場合のコンクリートの応力－ひずみ関係
- 2) 荷重の分担過程の変化
- 3) コンクリートに対する載荷速度の挙動
- 4) コンクリートに対するひずみ速度の挙動

また、実験結果より、圧縮実験中に載荷速度が変化した場合の応力－ひずみ関係、圧縮強度等を予測することが可能であるかどうかの検討も行う。

3. 2 供試体

コンクリート供試体はJIS R 1132に基づき作成した $\phi 100\text{mm} \times \text{H}200\text{mm}$ の円柱を用いた。使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材(鶴川産、比重2.70、F.M.=2.66)、粗骨材(沙流川産、 $G_{\text{max}} = 25\text{mm}$ 、比重2.71、F.M.=7.03)、

混和剤（AE剤：ピンソルW）とし、配合は表 1 に示す。また、養生日数は、28日間とした。

表 1 コンクリートの配合

w/c (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				AE剤 (cc/m³)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
35	7.6	7.6	39.5	175	500	646	972	1250
45	19.5	10.0	41.4	175	389	718	997	973

3. 3 実験装置

荷重載荷は載荷容量200tfのアムスラー型万能試験機を使用し、荷重制御により行った。
破壊緩和装置は図 3 に示した形状である。

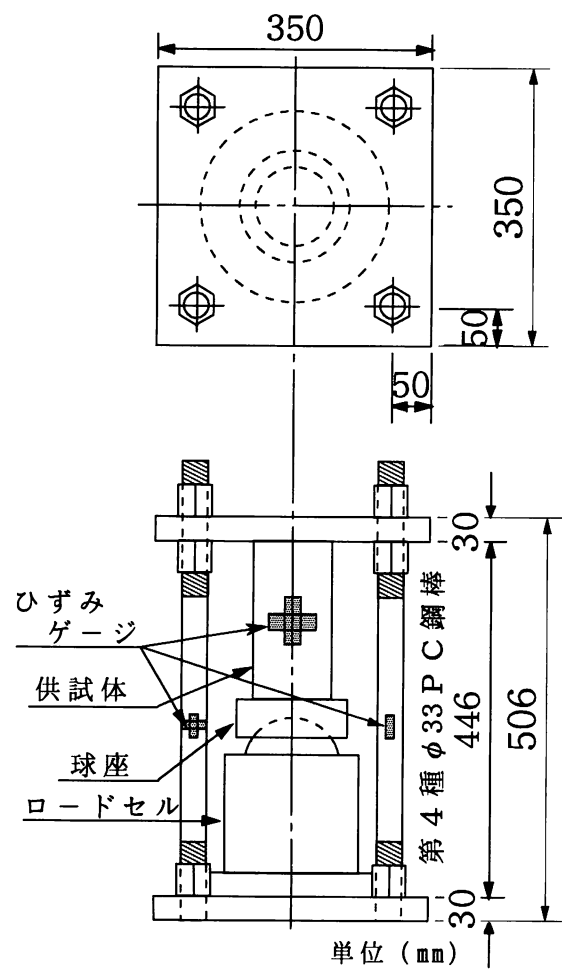


図 3 破壊緩和装置

この装置は、上面の鋼製載荷板はナットで挟み上下に可動させることができ、下面の鋼製載荷板はφ36mmの第4種PC鋼棒4本で支持固定したものである。上面のナットを締めることによって試験機からの荷重の一部がPC鋼棒に負担され、最大応力発生時の急激な破壊を制御することができる。最大応力発生以降は、増加する試験機からの荷重および供試体から移行する荷重をPC鋼棒

が負担することになり、供試体の崩壊を防ぐことができる。

3. 4 実験方法

破壊緩和装置内には、側面に荷重軸方向・直角方向ともに2枚ずつ左右対称にひずみゲージを貼付した供試体、球座、ロードセルを図3のように設置する。そして、万能試験機加圧板間に破壊緩和装置を挿入し、以下の方法で荷重載荷を行う。
①載荷速度は荷重の増加が毎秒2400±200Nとする。
②供試体が最大荷重を示した後も荷重を載荷し続け、荷重およびひずみを計測する。
③測定結果より、コンクリートの圧縮応力は圧縮試験中に加えられた荷重を元の最小断面積で除したものととして求める。したがって、圧縮応力σは式(3)によって求める。

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
 (3)

ここで、σ：圧縮応力 (N/mm²)
P：載荷荷重 (N)
A：元の最小断面積 (mm²)

以上から、求められた応力を縦軸、載荷荷重に対するひずみ値を横軸にプロットして応力－ひずみ曲線を描くために、4自由度の多項式による最小二乗法により整理しDuffing型応力－ひずみ関係において必要なパラメータである弾性係数E、最大応力発生時のひずみε₀を得ることとし、得られた曲線を実験値とした。ここで、Eは圧縮初期接線弾性係数と定義できるので、圧縮応力－ひずみ曲線の初めの接線こう配とする。すなわち式(4)によって求める。

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_{\epsilon=0}}$$
 (4)

ここで、E：初期接線弾性係数 (N/mm²)

4. 結果および考察

図4、6に単純圧縮実験結果、図5、7に破壊緩和装置を使用した実験（載荷速度が時間と共に変化）結果、表2～5に材料係数を示す。

図4、6より、単純圧縮実験結果とDuffing型応力－ひずみ関係により表現した曲線は、相似的な関係を示しており、これまで行った実験結果と同様であり、理論式の適合性を確認することができる。しかし、図5、7より、実験開始直後から

コンクリートに対する載荷速度が変化していく場合には、実験値に対して理論値の適合性は見られない。これは、載荷速度が常に一定とはならず、

時間（荷重増加）とともに変化しているからであると考えられる。また、載荷速度の変化による圧縮強度の変化は見られるが、最大応力発生時のひ

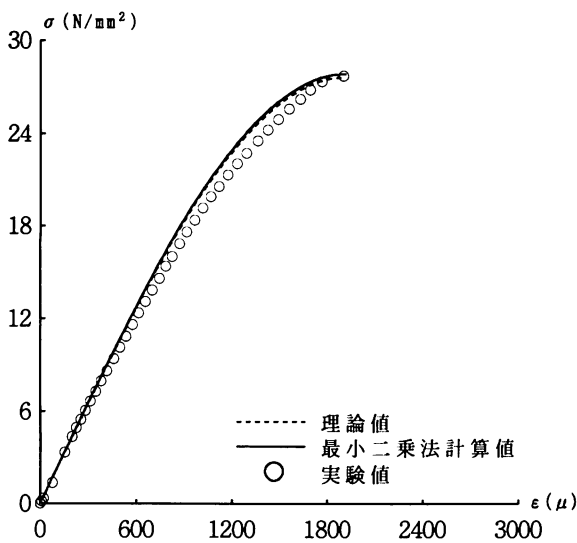


図4 応力－ひずみ関係（No.1, w/c=0.35）
（単純圧縮実験）

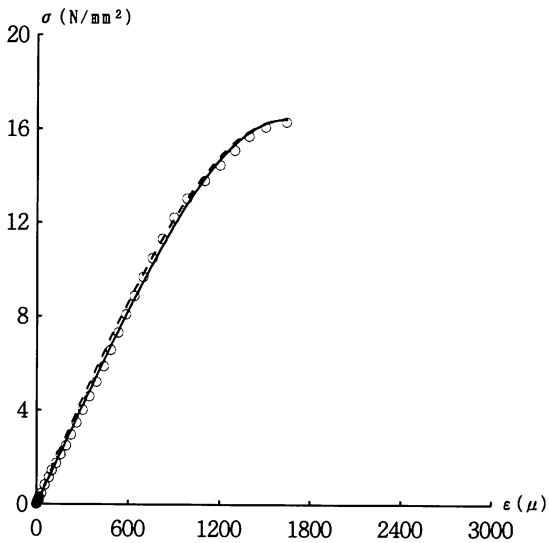


図6 応力－ひずみ関係（No.3, w/c=0.45）
（単純圧縮実験）

表2 材料係数（No.1）

供試体	w/c=0.35 , 28days cured	
弾性係数 E (N/mm ²)	2.2227×10^4	
最大応力発生時のひずみ ϵ_0	0.00191	

表4 材料係数（No.3）

供試体	w/c=0.45 , 28days cured	
弾性係数 E (N/mm ²)	1.8753×10^4	
最大応力発生時のひずみ ϵ_0	0.00163	

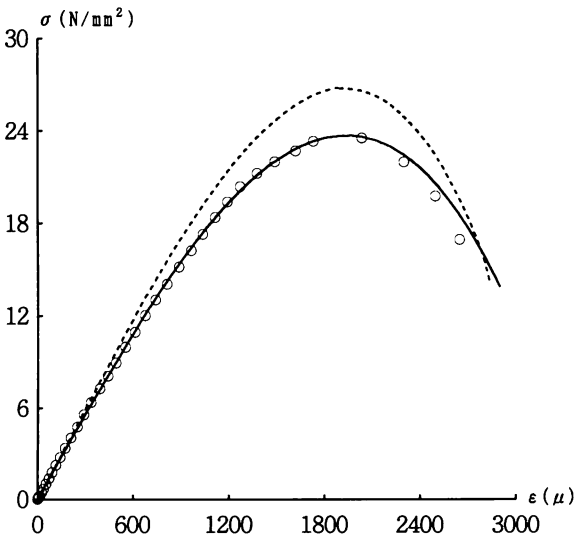


図5 応力－ひずみ関係（No.2, w/c=0.35）
（破壊緩和装置使用）

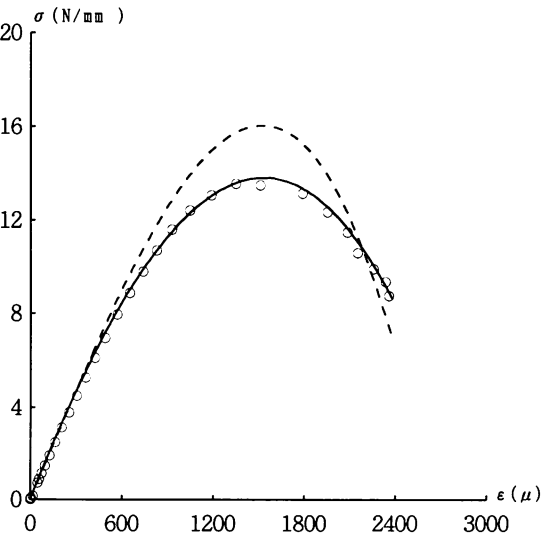


図7 応力－ひずみ関係（No.4, w/c=0.45）
（破壊緩和装置使用）

表3 材料係数（No.2）

供試体	w/c=0.35 , 28days cured	
弾性係数 E (N/mm ²)	1.9031×10^4	
最大応力発生時のひずみ ϵ_0	0.00192	

表5 材料係数（No.4）

供試体	w/c=0.45 , 28days cured	
弾性係数 E (N/mm ²)	1.5257×10^4	
最大応力発生時のひずみ ϵ_0	0.00167	

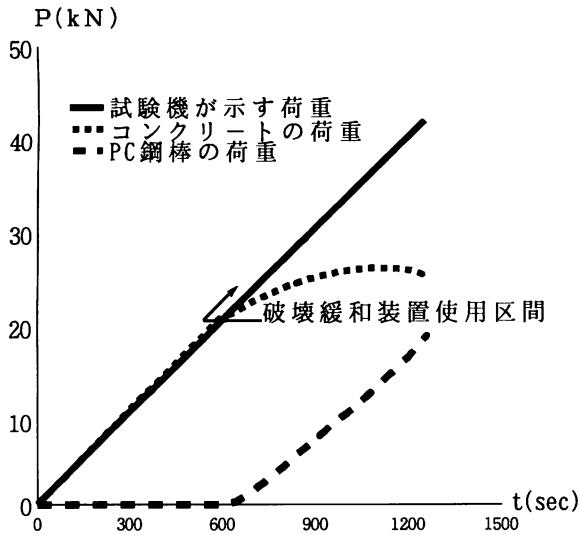


図8 荷重分担過程 (No.1, $w/c=0.35$)
(実験途中から破壊緩和装置使用)

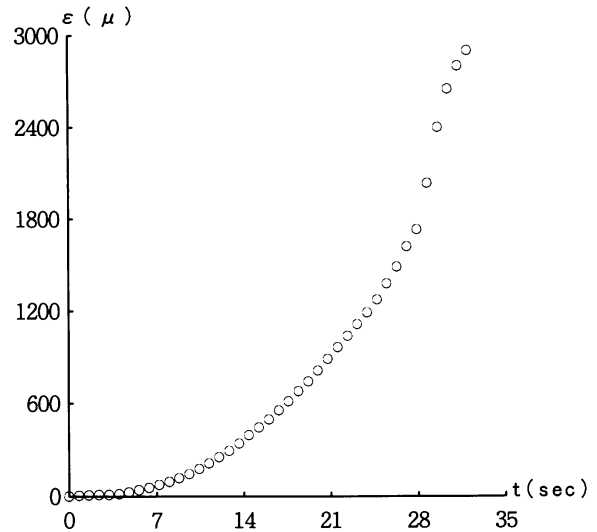


図10 ひずみ-時間関係 ($w/c=0.35$)

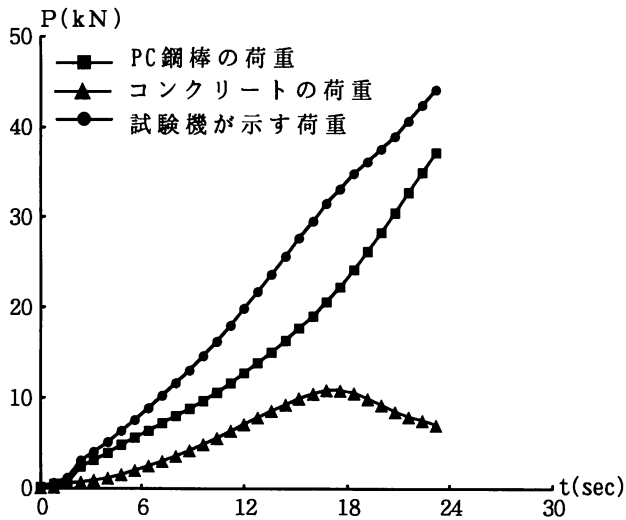


図9 荷重分担過程 (No.2, $w/c=0.35$)
(全区間破壊緩和装置使用)

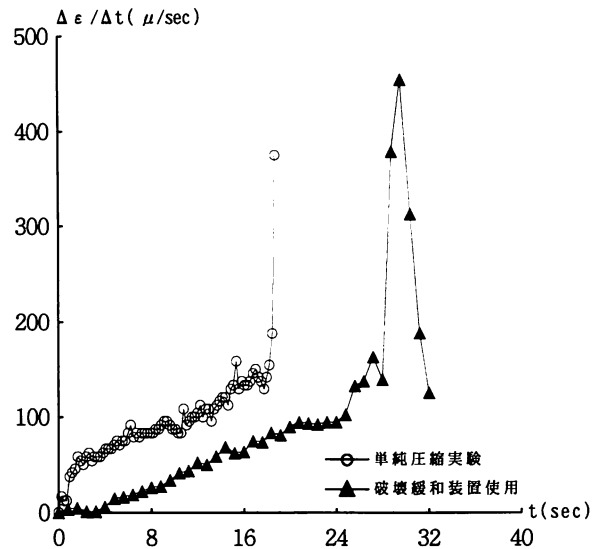


図11 $\Delta \epsilon - \Delta t$ 関係 ($w/c=0.35$)

ずみには、あまり変化が現れていない、このことは、既往結果と一致している。

また、図8、9に荷重分担の過程を示す。ここで、図8は実験途中よりPC鋼棒へ荷重が分担されるように行った実験結果であり、図9は、実験開始時よりPC鋼棒へ荷重が分担されるように行った実験結果である。

この両図から、実験開始時より双方に分担される荷重の割合が異なること、荷重分担率も荷重の増加と共に変化していくことが明らかとなった。

本実験では、荷重載荷は荷重制御で行うこととしたが、実験結果からも解るように、荷重の増加は一定とはならなかった。図10のひずみ-時間関係より、ひずみ制御的な挙動も示していない。そ

こで、図11に単位時間当たりのひずみ増加と時間の関係を示す。この図より、単純圧縮実験の結果と同様に、崩壊までの単位時間当たりのひずみの増加割合が、ほぼ線形関係となっていた事が判明した。しかし、このことはコンクリートの性質や鋼材の種類が異なる場合にも同様の結果を示すとは限らないと考えられる。このことから、荷重分担過程、ひずみの増加過程等、時間と共に変化する項目に着目し、Duffing型応力-ひずみ関係への展開を試みる必要があると思われる。

また、コンクリートに対する載荷速度が、時間と共に変化するような実験を行った場合にも応力-ひずみ関係は、ジャンピング現象のような挙動を示していないことから、連続関数として表現す

ることが可能であると思われる。

今後は、これらの事項を考慮したDuffing型応力-ひずみ関係への改良、およびコンクリートの配合、使用材料、鋼材の径や材質を変化させた実験を行う予定である。

謝 辞

本稿作成に当たり、佐々木敬生氏（北海道工業大学）、濱塚智成氏（北見工業大学）に多くの協力を頂いたことに深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 村田二郎・岩崎訓明、新土木実験指導書、技術堂出版、pp131-146,1994
- 2) 村田二郎・越川茂雄・富田嘉雄、コンクリートの応力-ひずみ曲線について、土木学会第30回年次学術講演会講演概要集(V)、pp195-196,1975
- 3) 近藤 崇・澤田知之・木田哲量・能町純雄、Duffing型応力-ひずみ関係を有する非線形材料に関する実験的研究、土木学会北海道支部論文報告集第53号(A)、pp262-265, 1997
- 4) 近藤 崇・澤田知之・木田哲量・能町純雄、非線形特性を考慮した軸圧縮力を受けるRC柱部材中におけるコンクリートの載荷速度に関する基礎実験、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集(1-A)、pp162-163,1997
- 5) Zdenek, P. Bazant, Wei-Hwa Gu, and K. T. Faber, Softening Reversal and Other Effects of a Change in Loading Rate on Fracture of Concrete, ACI Materials Journal, pp3-9,1995

(平成9年11月28日受理)