

V-342

分岐理論によるコンクリートの一軸圧縮強度における供試体寸法の評価

五洋建設（株）	正会員	石田仁
長岡技術科学大学建設系	正会員	丸山久一
東北大学土木工学科	正会員	池田清宏
長岡技術科学大学大学院	学生員	長谷川正人

1.はじめに

コンクリート構造物が多様化・複雑化し、大型化するにつれてコンクリートそのものの変形挙動や耐荷性状の解明は非常に重要な課題である。粒状体に関する研究においては、その破壊のメカニズムが分岐現象に支配されていることが明らかとなっており、[1]池田らは分岐理論を砂の三軸圧縮試験に適用し、成果を挙げている。[2,3]著者らもこれまでにコンクリートに対してこの分岐理論を適用し、その妥当性を示した。本研究では、さらに分岐理論の適合性が供試体寸法によって受ける影響を調べた。

2.分岐理論

図1に荷重-変位曲線上の分岐現象の例を示す。分岐とはある釣合いから、分岐点において別の釣合いに移行する現象である。分岐現象に支配される釣合経路は分岐方程式によって表される。池田らは構造系の釣合式から分岐方程式を誘導している。

$$(\delta u - r \delta P - s \delta u^2) + p(\delta u - r \delta P - s \delta u^2)^3 + q\varepsilon + \text{高次項} = 0 \quad (1)$$

ここに、 $\delta u \equiv u - u_c^0$ 、 $\delta P \equiv P - P_c^0$ 、 P は軸方向荷重、 u は軸方向変位、 ε は初期不整変数を表す。また、 p, q, r, s はパラメータである。式(1)から、次の2つの関係式が導かれる。

$$\delta P_c = P_c - P_c^0 = -(27pq^2/4)^{1/3} \varepsilon^{2/3} + \text{高次項} = 0 \quad (2)$$

$$\delta u_c = u_c - u_c^0 = (q/2p)^{1/3} \varepsilon^{1/3} + \text{高次項} = 0 \quad (3)$$

ここに、 δP_c は完全系の分岐荷重 P_c^0 と不完全系の分岐荷重 P_c の差、 δu_c は完全系の分岐点 u_c^0 と不完全系の極大点の変位 u_c の差である。式(2)は δP が漸近的に ε の $2/3$ 乗に比例することを表す Koiter が発見した有名な法則である。式(2),(3)から ε を消去して得られる極大点の軌跡を表す放物線 $\delta P_c = -3p\delta u^2$ を一般化して $\delta P = -g\delta u^2$ と表す。ここに g はある定数である。この放物線と不完全系との交点における変位 $\delta u_{kp} = g\delta u^2$ の感度則は

$$\delta u_{kp} = g\delta u^2 = (q/g-p)^{1/3} \varepsilon^{1/3} + \text{高次項} \quad (4)$$

式(2),(4)から ε を消去すると、次の比例関係が得られる。この関係に対してコンクリートの圧縮試験結果の適合性を調べることににより、コンクリートの破壊性状を調べる。

$$\delta u_{kp} = g\delta u^2 \propto (-\delta P_c)^{1/2} \quad (5)$$

コンクリートの応力-ひずみ曲線に対して式(5)の関係を適用した時の相関係数 R の2乗を分岐理論の適合性の目安と考える。

3.実験概要

3.1.使用材料・配合

今回使用した材料・配合をそれぞれ表1、2に示す。

3.2.圧縮試験

本実験では3種類の寸法のモルタル供試体について、圧縮試験を行い、荷重-変位曲線を測定した。試験に用いた供試体は $\phi 5\text{cm} \times 10\text{cm}$ (S)、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ (M)、 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ (L)の3種類の円柱供試体であり、それぞれのケースに対しサンプル数を14～15本とした。

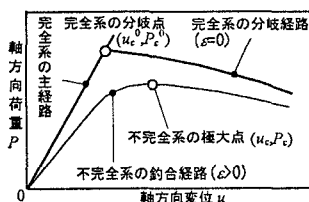


図1.分岐現象の例

図1.分岐現象の例

(2)

(3)

(4)

(5)

表1.使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント, 比重 3.16
細骨材	信濃川産川砂, 比重 2.59, F.M. 2.61
A E 剤	特殊2相系界面活性剤, I 類

表2.配合

air (%)	flow (mm)	W/C (%)	単位置 (kg/m ³)			A E 剤 (%-C)
			W	C	S	
9.2	169	65	282	434	1265	0.0350

4.実験結果

4.1.圧縮強度および完全系の分岐点(u_c^0, P_c^0)

本実験により得られた圧縮強度の平均値、完全系の分岐点の位置を表3に示す。

表3.圧縮試験結果

	圧縮強度 の平均値 (kg/cm^2)	完全系の分岐点の応力 $P_c^0(kg/cm^2)$	完全系の分岐点のひずみ $u_c^0(\mu)$
S	318.8	356.2	3370
M	308.0	401.9	3085
L	255.3	305.2	2551

4.2.応力-ひずみ曲線

応力-ひずみ曲線と完全系の分岐点(u_c^0, P_c^0)からおろした放物線 $\delta P = -g \delta u^2$ を図2.1~2.3に示す。ケースLに関して、応力-ひずみ曲線の極大点が取れていない例が目立つ。これが材料あるいは供試体寸法の特長であるのか、試験方法の影響であるのか、今後検討していく必要がある。

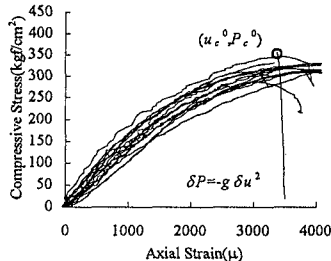


図2.1.応力-ひずみ曲線
(S 供試体寸法φ5x10cm)

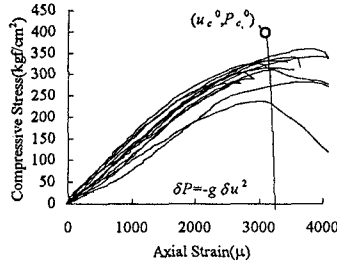


図2.2.応力-ひずみ曲線
(M 供試体寸法φ10x20cm)

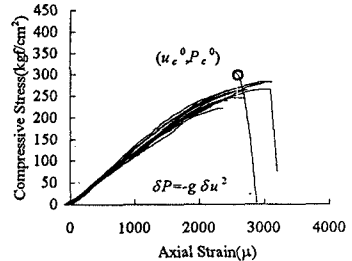


図2.3.応力-ひずみ曲線
(L 供試体寸法φ15x30cm)

4.3.初期不整感度則の適合性

図2.1~2.3に示す放物線 $\delta P = -g \delta u^2$ との交点のひずみ、および応力の極大値それぞれの完全系の分岐点からの変動量 $\delta u|_{\delta P = -g \delta u^2}$ 、 δP_c に対し、式(5)の関係(初期不整感度則)を適用した結果を図3.1~3.3に示す。また、供試体寸法と R^2 の関係を図4に示す。図3.1~3.3および図4より、ケースLを除いては初期不整感度則が非常に高い適合性を持つことがわかる。ケースLの適合性が低い原因としては(5)式の右辺に対して応力の極大値が正確に得られていないこと、または式(5)の左辺に対して放物線との交点のひずみが不正確であるということが考えられる。

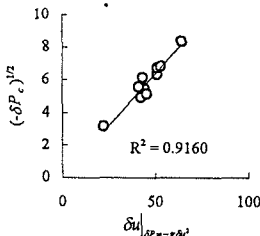


図3.1.(1)式の適用
(S φ5x10cm)

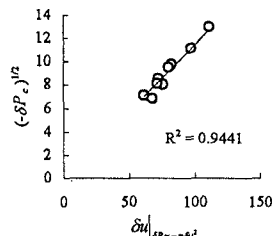


図3.2.(1)式の適用
(M φ10x20cm)

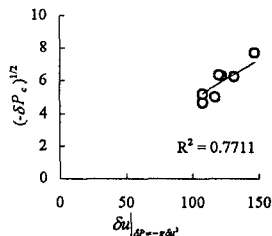


図3.3.(1)式の適用
(L φ15x30cm)

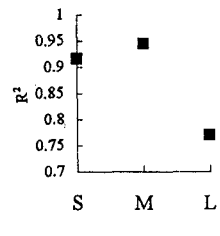


図4.供試体寸法
と適合性

5.まとめ

本実験において供試体寸法 φ5x10cm(S)、φ10x20cm(M)の場合は初期不整感度則の適合性が非常に高い。φ15x30cm(L)の場合には適合性が極端に低下しているが、これについては応力の極大値・およびその近傍の応力-ひずみ曲線が正確に取れていない可能性があり、今後更に検討する必要がある。

【謝辞】

本研究は文部省科学研究費補助金(一般研究C,課題番号06805038)の助成を受けて行ったものである。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- [1] 池田清宏, 岩熊哲夫, 中沢正利, 後藤聡, 堀宗朗 : 初期不整感度則による分岐特性の漸近近似法, 構造工学論文集, Vol.39A, 1993
- [2] Ikeda, K. and Goto, S. : IMPERFECTION SENSITIVITY FOR SIZE EFFECT OF GRANULAR MATERIALS, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 33, No.2, 1993
- [3] 池田清宏, 室田一雄, 丸山久一, 柳澤栄司 : 材料の強度変動の統計理論, 構造工学論文集, Vol. 41A, 1995
- [4] Koiter, W.T. (1945) : On the stability of elastic equilibrium, Dissertation, Delft, Holland, (English translation: NASA Tech. Trans. F10, 1967).
- [5] 石田仁, 丸山久一, 池田清宏, 長谷川正人 : コンクリートの圧縮破壊性状に関する分岐理論的考察, コンクリート工学年次論文報告集, 1995