

繊維補強コンクリートの圧縮強度のメカニズムの解析

東北大学工学部 学生員 ○本間 紀雄
東北大学工学部 正会員 池田 清宏

1. 序論

近年、混和材料の進歩によってコンクリートの多様化が進み、高流動コンクリート、高強度コンクリートといったコンクリートが使用されるようになってきた。しかしながらコンクリートの圧縮強度や破壊性状に関しては力学的に未解明な点が多い。また、コンクリートの高性能化が計られ、エネルギー関連施設などに高度化利用されるようになったことで、コンクリートの破壊についてより高精度な予測手法の確率が必要となっている。

一方、粒状体の滑り線形成に関する広範な研究により、その破壊のメカニズムが分岐現象によって支配されていることが明らかになってきている。池田等^{1) 2) 3)}は、供試体間の個体差を初期不整として捉え、初期不整が十分小さい場合にその影響を記述する分岐方程式のパラメーターを実験や解析結果に基づいて決めることにより、応力ひずみ曲線を近似する漸近近似則を提案している。本研究は繊維補強コンクリートの圧縮強度のメカニズムを分岐という視点にもとづき明らかにしようとする試みである。

2. 理論

(1) 分岐点探索法

分岐現象に支配される応力ひずみ曲線は分岐方程式により表わされる。池田等は非線形の釣合式から分岐現象の釣合い経路を表わす分岐方程式 (1) を誘導している。

$$\left| \delta u - \frac{\delta P}{E} \right|^{1/2} \delta P + p \left| \delta u - \frac{\delta P}{E} \right|^{3/2} + q\epsilon + \text{h.o.t.} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\delta u \equiv u - u_c^0$ 、 $\delta P \equiv P - P_c^0$ 、 P は荷重パラメータ、 u は軸方向変位、 ϵ は初期不整変数、点 (u_c^0, P_c^0) は完全系（初期不整ゼロ）の分岐点である。また、 p 、 $q\epsilon$ 、 E はパラメータであり、その値を決めることで応力ひずみ曲線を近似できる。分岐点から下ろした勾配 h_i の直線 $\delta P + h_i \delta u = 0$ と式 (1) の直線との交点での変位の値は

$$\delta u|_{\delta P + h_i \delta u = 0} = \text{sign}(\delta u) q^{2/3} \epsilon^{2/3} \left/ \left[\text{sign}(\delta u) h_i \left| 1 + \frac{h_i}{E} \right|^{1/2} - p \left| 1 + \frac{h_i}{E} \right|^{3/2} \right]^{2/3} \right. \quad \dots\dots\dots (2)$$

と求める。 $i = 1, 2, 3, \dots$ と数本の直線を考え、式 (2) を複数組連立して解くことにより、複数のパラメータ p 、 $q\epsilon$ 、 E が求まるが、これらの値は分岐点から直線を下ろした時のみ全て一致すべきである。一致の程度の指標として分散をとると、分散が小さくなる点として分岐点が求められ、同時に式 (1) のすべてのパラメータ p 、 $q\epsilon$ 、 E が得られる。実験や解析で得られた応力ひずみ曲線に上記の手法を適用することにより、分岐点およびパラメータが求まり、またこれを式 (1) に代入することにより、応力ひずみ曲線を近似できることになる。

ところで、分岐する系の初期不整による強度の低下量 δP_c に関する Koiter の 2/3 乗則は⁴⁾、

$$\delta P_c \equiv P_c - P_c^0 \sim - \frac{3p^{1/3} q^{2/3}}{2^{2/3}} \epsilon^{2/3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

により与えられる。Koiter 則を一般化するため、直線

$$\delta P + h \delta u = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

を考える (h は定数である)。式 (3) と (2) から ϵ を消去すると、

$$\delta P_c \sim -\eta^* \delta u|_{\delta P + h \delta u = 0} = - \frac{3 \text{sign}(\delta u)}{2^{2/3}} p^{1/3} \left[\text{sign}(\delta u) h \left| 1 + \frac{h}{E} \right|^{1/2} - p \left| 1 + \frac{h}{E} \right|^{3/2} \right]^{2/3} \delta u|_{\delta P + h \delta u = 0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

という変位と荷重という2つの物理量の間の漸近則が求まる。実験で得られた荷重-変位曲線について、式 (5) が表わす比例関係の成否を確かめることにより、分岐の介在の有無を検証できる。

3. 実験

試験は JISA1108 「圧縮強度試験」に基づいて行った。本実験は分岐現象に粗骨材の影響を与えないためにモルタルを対象としている。また、軸ひずみは3個の変位計のよみの平均値を用いた。なお試験は材齢28日以上とし、同一バッチから高さ20cm、直径10cmの円柱供試体を作成した。今回使用した材料・配合をそれぞれ表1、2に示す。

実験で得られた応力ひずみ曲線を図-1 に示す。本実験で得られた応力ひずみ曲線に対し、式 (5) の関係を適用した結果を図-2-a, 2-b, 2-c に示す。

表-1 使用材料

名称	略号	使用材料	比重
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.10
細骨材	S	信濃川産川砂	2.56
水	W	水道水	
A E 剤		特殊アニオン系界面活性剤 I 型	
繊維	V F	プリジストン社製鋼繊維	

表-2 配合表

番号	w/c (%)	s/a (%)	単位量	A E 剤 (% - c)	鋼繊維混入率 v f (% - c)
			w c s		
106					0.5
110	50	100	3139251255	0.01	1.0
120					2.0

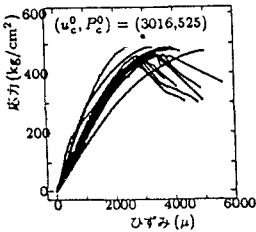


図-1-a 鋼繊維添加率 0.5 %

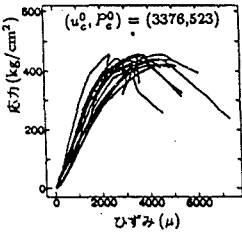


図-1-b 鋼繊維添加率 1.0 %

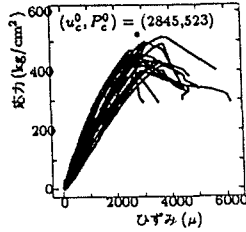


図-1-c 鋼繊維添加率 2.0 %

図-1 応力ひずみ曲線

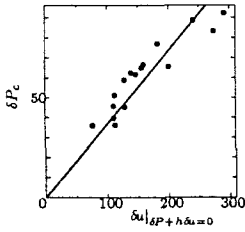


図-2-a 鋼繊維添加率 0.5 %

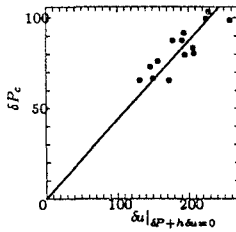


図-2-b 鋼繊維添加率 1.0 %

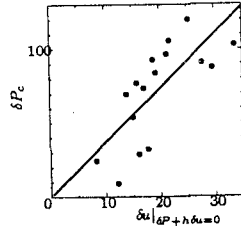


図-2-c 鋼繊維添加率 2.0 %

図-2 初期不整感度則の適合性

4. 考察

鋼繊維の添加は圧縮強度の増加に寄与していない。図-1から解るように鋼繊維量の増加に伴ない破壊のメカニズムが分岐現象から割れへと移行している。鋼繊維が供試体内においてモルタルの材料粒度に比べ大きいために、ある種の初期不整となり、鋼繊維量の増加が初期不整の増大につながり、これが割れへと移行する要因となっていると考えられる。このことは図-2、表3の初期不整感度則の適合性が鋼繊維量が多くなると低下することからも裏付けられる。

5. 結論

本研究では鋼繊維補強コンクリートの破壊メカニズムに分岐が大きく関与していることが明らかにできた。分岐という新しい視点に基づく材料強度試験が望まれる。

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, Soil and Foundations Vol.33, No.2, pp.157-170, 1993
3) KIYOHITO IKEDA, TETSUYA CHIDA and EIJI YANAGISAWA: IMPERFECTION SENSITIVE STRENGTH VARIATION OF SOIL SPECIMENS
4) Koiter, W.T. (1945): On the stability of elastic equilibrium, Dissertation. Delft, holland, (English translation: NASA Tech. Trans. F10, 1967)

表-3 鋼繊維添加率における初期不整感度則の適合性

繊維添加率 (% - C)	相関係数
0.5	0.845
1.0	0.771
2.0	0.730