

コンクリート曲げ強度の寸法依存性

名古屋大学工学部 学生会員 松尾 豊史
名古屋大学工学部 正 会 員 二羽 淳一郎

1. まえがき

コンクリートのひびわれが構造物の破壊に大きく影響するような場合、非線形の破壊力学の考え方を適用すると、構造強度の寸法効果が説明できる。

ひびわれのモデル化には、ROD ELEMENTと呼ぶ棒状の要素を用いた仮想ひびわれモデルを使い、引張軟化特性を組み込んだ有限要素法を用いて、コンクリート曲げ強度の寸法依存性に関する諸変量（引張強度、破壊エネルギー、ヤング係数）の影響を数値的に検討した。

2. 解析概要

3等分点荷重を受けるはり供試体の要素分割図を図-1に示す。対称性により、供試体の左半分のみを解析の対象とし、スパン中央に下縁から上縁まで仮想ひびわれを設けた。仮想ひびわれ部には、ROD ELEMENTと呼ぶ棒状の要素を挿入し、ひびわれの進展は要素節点を分離することでモデル化した。また、ひびわれ間には引張軟化曲線から求まる引張応力を等価節点力として作用させた。

コンクリートの引張軟化曲線としては、種々のモデルが提案されており、その形状は曲げ強度に影響を与える因子の一つを考えられるが、本研究では、図-2に示す1/4モデルを用いて、ROD ELEMENTの応力-ひずみ関係を定めた。

本研究では、問題の簡略化のため、供試体の初期応力、自重などは考えない。曲げ強度に影響を与える因子として、はりの高さd、コンクリートの引張強度 f_t 、破壊エネルギーGF、弾性係数Ecを取り上げ、引張軟化特性を組み込んだ有限要素法によって変位制御で解析した。

解析のケースとして表-1に示した7ケースの条件で行い、それぞれはりの高さがd=1cm、10cm、50cm、100cm、500cmの5通りの解析を行った。

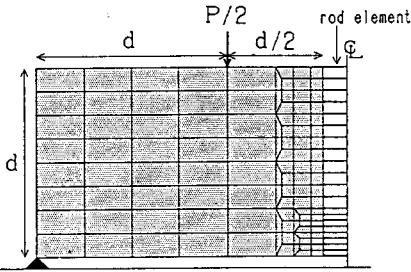


図-1 はり供試体の要素分割図

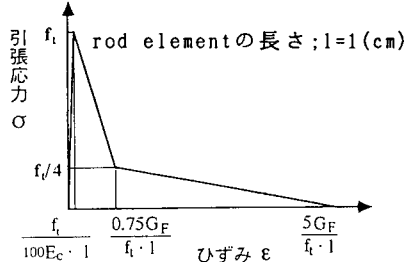


図-2 ROD ELEMENTの引張軟化曲線モデル

3. 解析の結果

表-2に示す組み合わせに対して、曲げ強度 f_b の変化を図-3に、はり中央部の応力分布を図-4に示す。

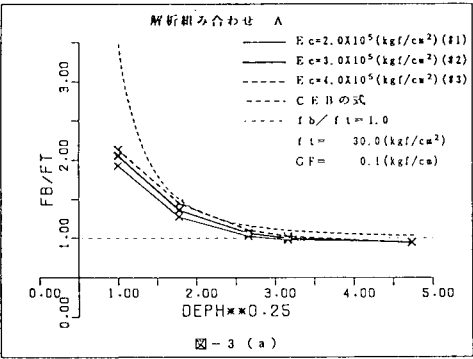


図-3 (a)

各種解析ケース	弾性係数 E_c ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	引張強度 f_t (kgf/cm^2)	破壊エネルギー G_F (kgf/cm)
#1	2.0	30.0	0.1
#2	3.0	30.0	0.1
#3	4.0	30.0	0.1
#4	3.0	10.0	0.1
#5	3.0	50.0	0.1
#6	3.0	30.0	0.05
#7	3.0	30.0	0.3

表-1 各種解析ケース

組み合わせ			
A	#1	#2	#3
B	#4	#2	#5
C	#6	#2	#7

表-2 考察の組み合わせ

図-3 曲げ強度 f_b の変化図

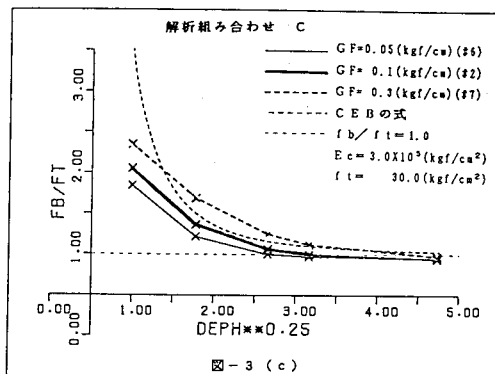
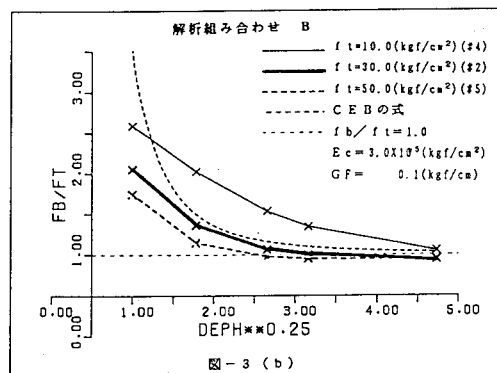
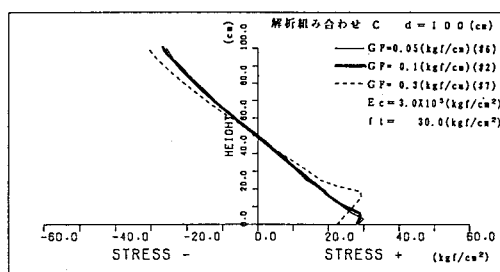
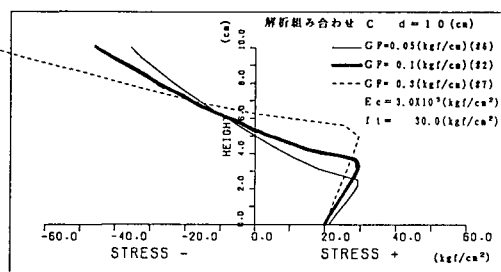
図-3 曲げ強度 f_b の変化図

図-4 はり中央部の応力分布図

4. 考察およびまとめ

供試体寸法が大きくなるにつれて、最大荷重時の応力分布は直線に近付き、引張軟化の影響が相対的に小さくなり、寸法効果も小さくなる。

・組み合わせA (E_c 変化)

寸法効果に対する引張軟化の影響は E_c が変化してもほとんど認められない。 f_t の変化や G_F の変化に比較して、その影響は小さい。

・組み合わせB (f_t 変化)

f_t が小さいほど、 $0.75 G_F / f_t$ の値が大きくなり、引張軟化部の応力分布が直線に近付くので、引張軟化の影響が大きくなる。従って、寸法効果は f_t が小さいほど大きくなる。

・組み合わせC (G_F 変化)

G_F が大きいほど、 $0.75 G_F / f_t$ の値が大きくなり、引張軟化部の応力分布が直線に近付くので、引張軟化の影響が大きくなる。従って、寸法効果は G_F が大きいほど大きくなる。

図-3の曲げ強度 f_b の変化図にCEBの式(式①)を示した。これを見ると、CEBの式のように

$$f_b = f_t \frac{1 + 2.0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{0.7}}{2.0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{0.7}} \quad \text{----- ①} \quad \text{但し、} d_0 = 1.0 \text{ (cm)}$$

寸法効果の因子としてはりの高さ d のみしか考えないのは、明らかに不十分である。寸法効果の因子として、はりの高さ d の他にも、破壊エネルギー G_F や引張強度 f_t も考えていく必要があることが示された。