

V-348

純引張部材としてのコンクリートの寸法効果のシミュレーション

武蔵工業大学
武蔵工業大学
トータル・インフォメーション・サービス

学生員 西藤厚
正会員 吉川弘道
正会員 金刀督純

1. はじめに

コンクリートの引張強度は、部材寸法の増加に伴い低下することは寸法効果として一般的に知られ、古くから重要な問題として注目されている。本研究は、寸法効果を引き起こす原因として材料欠陥の存在確率の増加に基礎をおくモデルに着目し、破壊エネルギーなどの破壊力学の概念を導入し、有限要素法により数値計算を行い、寸法効果を再現することを試みたものである。

2. 材料欠陥のモデル化

コンクリートの材料欠陥は引張強度のばらつきに起因するものと仮定し、以下のようにモデル化した。まず、引張強度のばらつきは正規分布することを仮定し、かつその相関特性は空間的な相対距離によって決るものとする。すなわち、有限要素法では隣合う要素間の相関は強く、離れた要素間の相関は弱くなるように設定するものである。このような相関係数を表すために次式のような二次元の Exponential 関数¹⁾を採用した。

$$\rho(i, j) = \rho(j, i) = \exp \left\{ -\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{A} \right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{B} \right)^2} \right\} \quad (1)$$

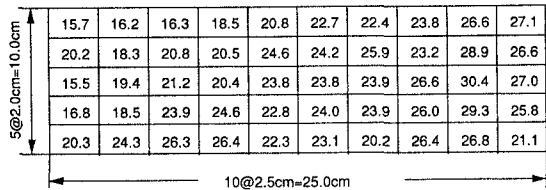
ここで、 $\rho(i, j)$: i 要素と j 要素の距離相関係数、 Δx : i 要素と j 要素の水平方向の相対距離、 Δy : i 要素と j 要素の鉛直方向の相対距離、 A, B : x, y 各方向の相関強度係数、を表す。ただし、 $\rho(i, j)$ は、 $\rho(i, j)=1$: 完全相関、 $\rho(i, j)=0$: 無相関の両極を持つ正の係数である。

この距離相関係数を用いて以下の手順²⁾により距離相関特性を有したサンプルを求める。

$$[Cov(i, j)] = S^2 [\rho(i, j)] = S [C] S [C]^T$$

$$\{Z_c\} = S [C] \{Z_s\} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $[Cov(i, j)]$: 共分散マトリクス、 $\{Z_s\}$: 正規分布 $N(E, S)$ に従う互いに独立なサンプル値、 $\{Z_c\}$: 距離相関を考慮したサンプル値、である。また、有限要素の総数を m 個とすると、 $[Cov(i, j)], [C], [C]^T$ は $m \times m$ の正方マトリクス、 $\{Z_s\}, \{Z_c\}$ は $m \times 1$ のベ



15.7	16.2	16.3	18.5	20.8	22.7	22.4	23.8	26.6	27.1
20.2	18.3	20.8	20.5	24.6	24.2	25.9	23.2	28.9	26.6
15.5	19.4	21.2	20.4	23.8	23.8	23.9	26.6	30.4	27.0
16.8	18.5	23.9	24.6	22.8	24.0	23.9	26.0	29.3	25.8
20.3	24.3	26.3	26.4	22.3	23.1	20.2	26.4	26.8	21.1

図-1 部材の引張強度例 ($l=25cm$, $5Lines$, $V=20\%$)

クトルである。

3. 解析方法

本研究では普通無筋コンクリートの引張部材を対象とし、厚さ ($1cm$) を一定とし、長さ (l) を $5.0, 12.5, 25.0, 37.5, 50.0cm$ 、幅 ($Lines$) を $1, 3, 5, 10, 15, 20Lines$ ($1Line=2.0cm$)、破壊エネルギー (G_f) を $0.10, 0.15, 0.30kgf/cm$ 、引張強度の変動係数 (V) を $1, 5, 10, 20, 30\%$ に変化させたモデル (図-1) を使用し、平均最大引張応力 (F/A ; F : 最大荷重の平均値、 A : 断面積) を求めた (ただし、引張強度の平均値 $\bar{f}_t$ $20kgf/cm^2$)。

境界条件として左端固定、右端を最大耐力点以降も解析できるように強制変位制御とし、ひび割れ発生条件として主応力が引張強度を越えると主応力方向と直交する方向に発生するとした。また、コンクリートはひび割れが発生するまでは線形弾性体とし、ひび割れ発生後は直交異方性体とした。その際、ひび割れと平行な方向は線形弾性体のままとし、ひび割れと直交する方向に引張軟化特性³⁾を与えた。また、除荷方向を原点指向型とし、ひび割れの再結については除荷後、主ひずみが $\epsilon_{rs}=60 \times 10^{-5}cm$ となった時点を考え、再結後の剛性は初期剛性が復活するものとした。再結後に再び引張力が加わる場合は、はじめに定義した引張軟化曲線のスケルトン上にのるようにひずみが増加する方向に進行し、そのまま除荷が進行する場合は初期剛性の勾配で進行するものとした。

本解析では非線形求解法として増分繰返し法を用い、Newton-Raphson 法を用いて収束計算を行った。上記の諸条件のもと、材料非線形汎用コード⁴⁾を

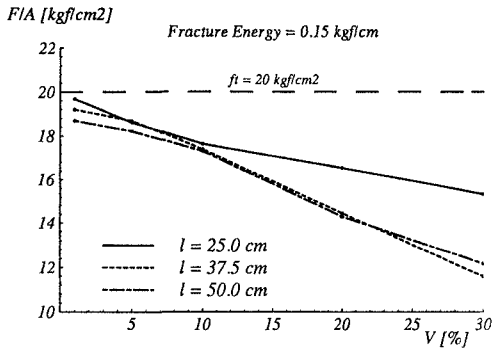


図-2 V - F/A 図 ($G_f=0.15\text{kgf/cm}$, 3Lines)

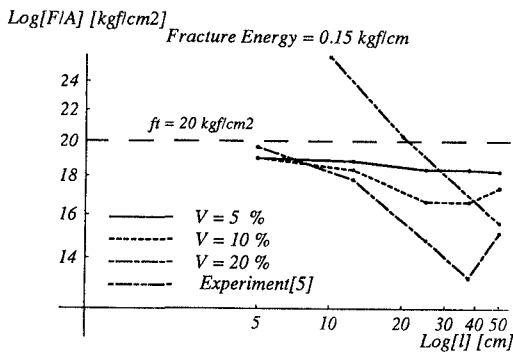


図-3 l - F/A 図 ($G_f=0.15\text{kgf/cm}$, 10Lines)

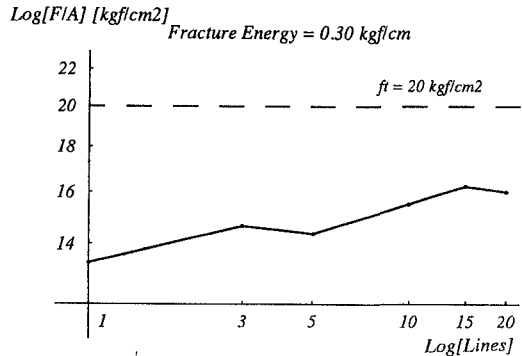


図-4 Lines - F/A 図 ($G_f=0.30\text{kgf/cm}$, 50cm 10%)

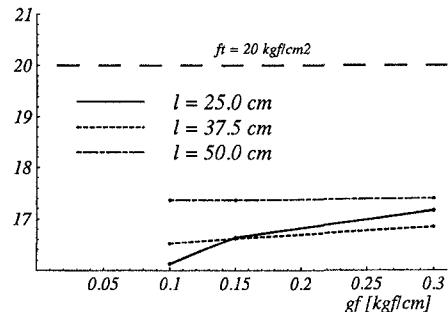


図-5 G_f - F/A 図 ($V=10\%$, 10Lines)

用いて計算を行った。

4. 解析結果と考察

解析の結果を、図-2～図-5に示す。

V - F/A 図 (図-2): 変動係数 (V) の増加に伴い平均最大引張強度 (F/A) の低下がすべての長さ (l) のモデルについてみられた。また、モデルの l が長くなるほど F/A の低下が著しい結果となった。

これは、材料欠陥の存在確率の増加、つまり引張強度の低い要素の増加によるものと考えられる。

l - F/A 図 (図-3): l と F/A の関係を両対数グラフに表し、長谷川らの実験結果⁵⁾と比較した。その結果、引張強度の変動係数 (V) が20%の勾配が実験結果とよく一致するものとなった。

Lines - F/A 図 (図-4): 幅 (Lines) と F/A の関係を両対数グラフに表した。その結果、横寸法 Lines の増加に伴い F/A が増加する傾向が見られた。

これは、1Line の場合、一つの最弱要素により F/A が決定されるが、2Lines 以上では各 Line の相互作用により F/A が決まるため、徐々に F/A が増加したのと考えられる。つまり、横方向の寸法効果と考えられる。

G_f - F/A 図 (図-5): 破壊エネルギー (G_f) の増加に伴い F/A が増加する結果が得られた。しかし、 l が長くなるにつれて増加の割合は減少し、 $l=50\text{cm}$ ではほぼ一定値となった。

5. まとめ

本解析の結果、破壊エネルギー (G_f) 0.15kgf/cm 、幅 (Lines) 3Lines、引張強度の変動係数 (V) 20% の場合、長さの約3乗根に反比例して平均最大引張強度 (F/A) が低下する寸法効果を再現することができた。

今後は、エネルギー変換機構に関する項など寸法効果に影響を与えると考えられる他の要因の導入も検討していきたい。

参考文献

- 1) 小川保, ほか: ACI による地盤物性値の空間分布に関する確率モデル選定、第27回土質工学研究発表会、C-7, pp.133-134, 1992年6月
- 2) 星谷勝, 石川清: 構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1993年
- 3) 長野竜馬, 畠山善治, 吉川弘道: コンクリートの引張破壊と有限要素法の寸法依存性、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、V-475, pp.976-977, 1993年9月
- 4) 材料非線形汎用コード Total-RC v.3: 理論マニュアル、1986年
- 5) 長谷川俊昭, 塩屋俊幸, 岡田武二: コンクリートの割裂引張強度に関する寸法効果、コンクリート工学協会第7回年次講演会論文集、pp.309-312, 1985年6月