

I-A 116 アンカーボルトの引き抜きによるコンクリートの破壊過程のメソスケール解析

九州大学 学生員 吉武謙二 九州大学 正 員 彦坂 熙
九州大学 正 員 劉 玉撃 九州大学 学生員 斉藤成彦

1. 序論

コンクリートは、骨材粒子レベルのメソスコピックな組成や構造を解明して最適化することにより優れた特性を発揮させることができ、高性能コンクリートの開発にもつながるものと期待される。

本研究では、ポロノイ分割を用いたランダム粒子-バネ系モデル¹⁾により、コンクリートに定着されたアンカーボルトの引き抜き試験をシミュレートし、破壊に及ぼす骨材の効果に注目して、コンクリートの破壊メカニズムについて準微視的に考察した。

2. ポロノイ分割を用いたコンクリートのメソスケールシミュレーション手法

まず、粗骨材を含むコンクリートに対して、ランダム粒子の生成と配置を行う。3次元空間における供試体の形状と寸法を指定したのち、骨材粒子を完全な球で表し、球の中心座標 (x, y, z) を一様乱数により与え、骨材粒子をコンピュータで一個ずつ配置する。生成した骨材分布の3次元モデルを任意の平面でスライスして2次元モデルを得る。モルタルマトリックスはポロノイ多角形に分割する。

ランダムに配置された骨材粒子要素及びモルタルマトリックス要素を剛体と仮定し、要素の境界辺に垂直バネとせん断バネからなるバネ系を設ける。コンクリートは骨材粒子(a)、モルタルマトリックス(m)及びそれらの界面(i)からなると考えて取り扱う。骨材-モルタル界面の材料特性については、弾性係数 E_i とポアソン比 ν_i は隣接する骨材とマトリックスの2つの要素の重心から要素境界辺に下した垂線 (h_a, h_m) を重みとする平均値を用いる。すなわち、

$$E_i = (E_a h_a + E_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (1) \quad \nu_i = (\nu_a h_a + \nu_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (2)$$

界面の引張強度 f_{ti} はモルタルの引張強度 f_{tm} の50%に仮定する。破損が逐次発生するように変位制御により载荷する。破損判定は引張破壊のみを考慮する。破壊強度に達したバネの剛度を段階的に低減することにより、コンクリートの3次元非均質性を考慮する。

表-1 バネの材料特性

バネの構成	骨材	モルタル	界面
E (GPa)	$E_a=60.0$	$E_m=20.0$	式(1)
ν	$\nu_a=0.25$	$\nu_m=0.18$	式(2)
f_t (MPa)	$f_{ta}=6.0$	$f_{tm}=5.0$	$f_{ti}=2.5$

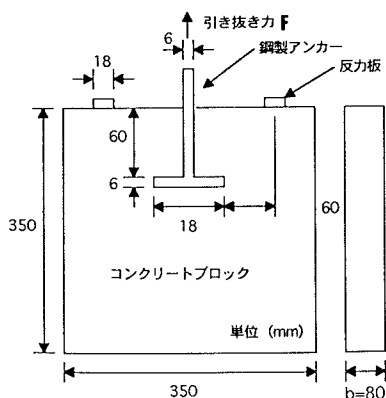


図-1 供試体の構造と寸法

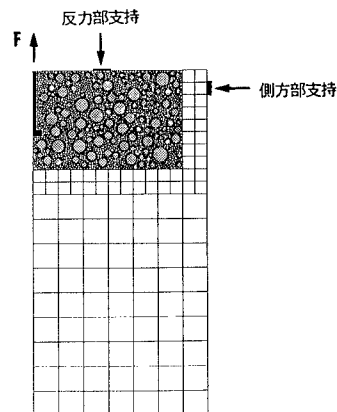


図-2 要素メッシュ

3. 解析モデル

鋼製アンカーボルトの埋設されたコンクリート供試体の構造と寸法を図-1に示す²⁾。メソスケール解析モデルはコンクリートの破壊領域のみに用いることとし、残りの領域には均質材料としての剛体-バネモデルを適用する。構造と荷重の対称性を考慮した要素メッシュを図-2に示す。粗骨材の最大寸法は15mmである。材料の弾性係数と強度は表-1のように設定した。

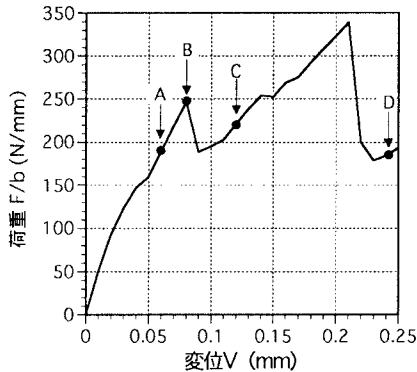


図-3 アンカーボルト上端の荷重-変位曲線

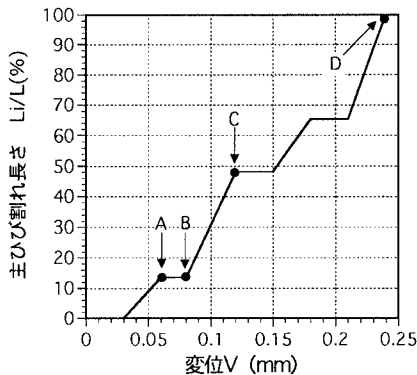


図-4 主ひび割れ進展長さと変位の関係

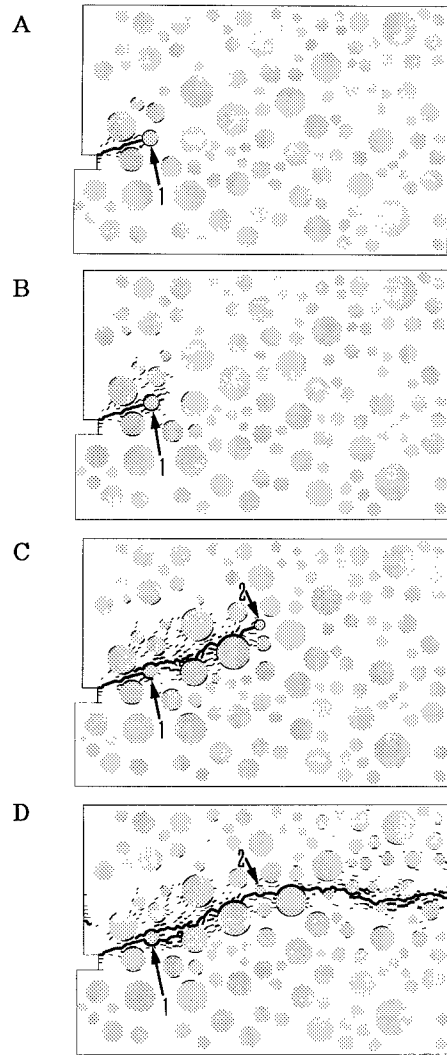


図-5 ひび割れ進展状態

4. 解析結果及び考察

アンカーボルト上端部の荷重-変位曲線を図-3に示し、この曲線上のA～D点でのひび割れ進展状態を図-5に示す。また図-4は、ある変位での主ひび割れ長さ L_i を、ひび割れ貫通時（点D）の主ひび割れ全長 L で正規化してプロットしたものである。

A点では、主ひび割れの進展が骨材1により阻止されている。AB間ではその効果により、主ひび割れは進展せず、変形エネルギーが蓄積することにより荷重が増加し、主ひび割れの進展方向に多数の微細ひび割れが発生している。BC間では、変形エネルギーの急激な解放とともに荷重が減少し、界面ひび割れやモルタルひび割れ、あるいはモルタルひび割れ同士の連結により、主ひび割れは、両側領域に多数の微細ひび割れを伴い、骨材2まで一気に進展している。このことは、荷重-変位曲線の勾配が大きい時、図-4では勾配が小さく、荷重-変位曲線の勾配が負の時、図-4では勾配が大きいことから理解できる。

コンクリートは、このような破壊メカニズムの繰り返しにより巨視的破壊に至っている。

参考文献 (1) 劉 玉 他：九州大学工学集報, Vol. 58, No. 1, 1995. (2) 日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書, 1993. 10