

アンカーボルトの引き抜きによるコンクリートの準微視的破壊過程の解析

九州大学 学生員 吉武謙二

九州大学 正 員 彦坂 熙

九州大学 学生員 劉 玉琴

九州大学 学生員 斉藤成彦

1. 序論

コンクリートは、ランダムに配置された骨材をセメントペーストで化学的に結合した非均質な多相材料である。この種の材料では、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、ボロノイ分割を用いた剛体-バネモデルで、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、反力部及び側方部の各種支持条件が破壊形態ならびに耐荷力に及ぼす影響を明らかにするとともに、コンクリートの準微視的破壊過程について考察した。

2. ボロノイ分割を用いたコンクリートの準微視的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、骨材粒子をコンピュータで一個ずつ配置する。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る。仮定した骨材の粒度分布に従って骨材量の粒径別目標値を定め、粒径の大きな骨材から始めて、その骨材量が目標値に達すると、順次粒径の小さな骨材を配置する。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。2次元モデルの骨材を球のスライス面(円)に外接する正多角形で表し、モルタルマトリックスはボ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。各要素の重心点に2次元剛体変位の3自由度を配する。

コンクリートを骨材粒子(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。骨材及びモルタルの材料特性については、それぞれ骨材とモルタルの材料試験により決めることが可能である。骨材-モルタル界面の材料特性については、弾性係数 E_i, 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

$$E_i = (E_a h_a + E_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (1)$$

$$\nu_i = (\nu_a h_a + \nu_m h_m) / (h_a + h_m) \quad (2)$$

を用いる。界面の引張強度 f_{ti} はモルタルの引張強度の50%に仮定する。

破壊が逐次発生するように変位制御により載荷する。破壊判定は引張破壊のみを考慮し、せん断バネの剛度低減及び応力解放は同一境界辺上の垂直バネと同様に行う。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。

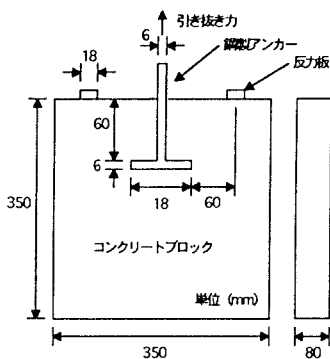


図-1 供試体の構造と寸法

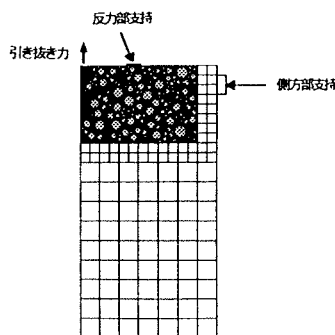


図-2 要素メッシュ

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。本供試体については内外の幾人かの研究者によるアンカーボルト引き抜き実験結果が報告されているが¹⁾、実験値には図-3のように大きなばらつきが見られる。本準微視的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、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、反力部及び側方部の支持の違いによる3つのケース(表-2)を解析した。

表-1 バネの材料特性

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

表-2 解析ケース

ケース	反力部の支持	側方部の支持
ケース1	ローラー	固定
ケース2	ローラー	ローラー
ケース3	固定	ローラー

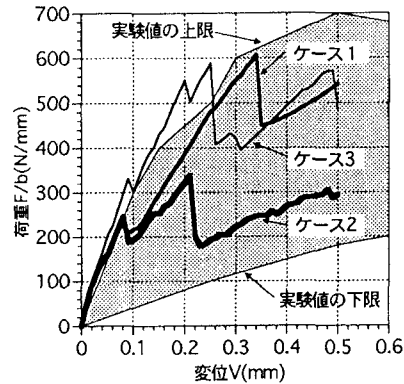
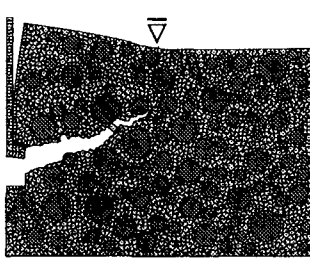
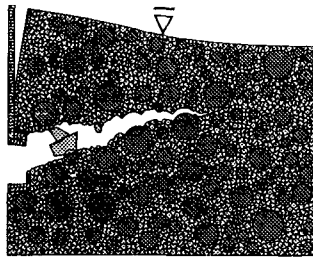


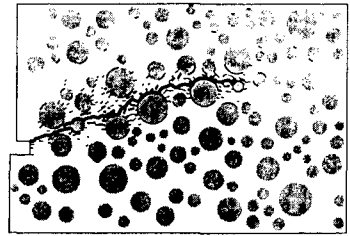
図-3 アンカーボルト上端の荷重-変位曲線



ケース1



ケース2



ケース2

図-4 破壊状態

図-5 ひびわれ進展状態

4. 解析結果及び考察

アンカーボルト上端の荷重-変位曲線について、3ケースの解析値と実験上下限値を図-3に示す。ケース1とケース2の解析における最大荷重時の破壊状態は図-4の通りである。各ケースの荷重-変位曲線の解析値は、ほぼ実験値の範囲にあり側方部や反力部の支持方法の違いがその特性に大きく影響している。

図-4において、ケース1は反力部、ケース2は側方部の支点に向かって破壊が進展しており、骨材がモルタルからはく離する内部破壊現象が観察される。ケース2のひびわれ進展状態(図-5)より、主ひびわれの両側領域に集中して微細ひびわれが存在し、荷重の増加とともに主ひびわれは、先端領域に微細ひびわれを伴って進展していることが確認できる。

参考文献

- (1)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
- (2)劉 玉掌他：九州大学工学集報, Vol. 68, No. 1, 1995.