

ランダム粒子-バネ系モデルによるアンカーボルトの引き抜き破壊挙動の解析

九州大学 学生員 高畑 悟

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 吉武謙二

1. 序論

コンクリートは、構造設計上は等質等方性材料として取り扱われるが、骨材粒子レベルでは骨材がランダムに配置された非均質脆性材料である。そこでコンクリート材料の力学的挙動を準微視的にシミュレートすることにより設計の精度向上につながると期待される。

本研究ではボ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、骨材の最大寸法がコンクリートの破壊進行ならびに領域の性状に及ぼす影響を考察する。

2. 解析手法

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1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ボロノイ多角形に分割する。

次に、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、

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

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

界面の強度はモルタルの強度の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載荷する。破損判定は Mohr-Coulomb 理論を用い、引張破壊だけでなく、せん断すべり破壊も考慮する。また破損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。

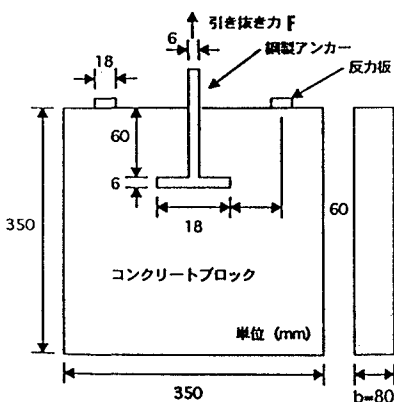


図-1 供試体の構造と寸法

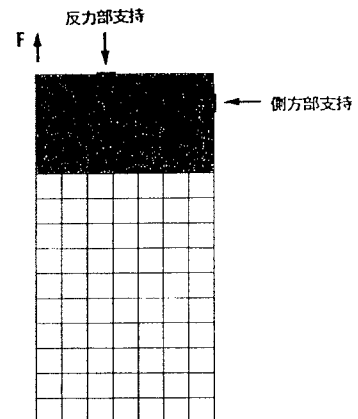


図-2 要素メッシュ

3. 解析モデル

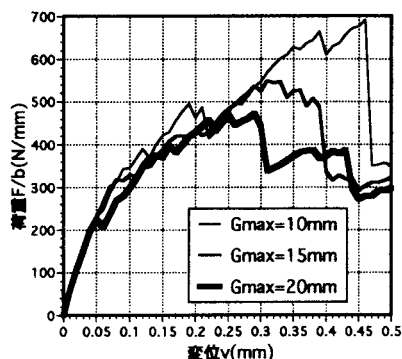
鋼製アンカーボルトの埋設されたコンクリート供試体の構造と寸法²⁾を図－1に示し、供試体の破壊領域に注目し対称性を考慮した要素メッシュを図－2に示す。材料の弾性係数と強度は表－1のように設定した。内部破壊過程に及ばず骨材寸法の違いによる影響を明らかにするために、骨材最大寸法 G_{max} をそれぞれ10 mm, 15 mm, 20 mmに変化させた3つの供試体の解析を行う。また反力部、側方部の支持条件を表－2に示す。

表－1 バネの材料特性

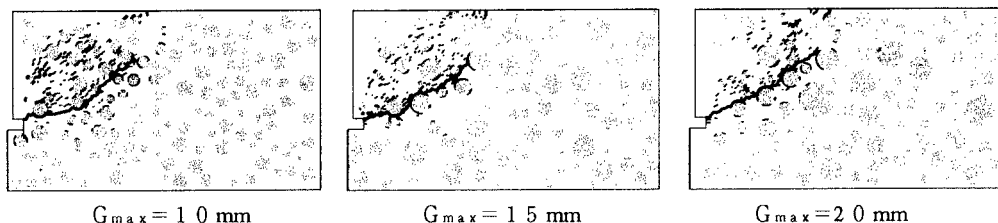
バネの構成	骨材	モルタル	界面
ヤング率 E (GPa)	$E_a=60.0$	$E_m=20.0$	式(1)
ポアソン比 ν	$\nu_a=0.25$	$\nu_m=0.18$	式(2)
引張強度 f_t (MPa)	$f_{ta}=6.0$	$f_{tm}=5.0$	$f_{ti}=2.5$
付着強度 c (MPa)		$c_m=12.5$	$c_i=6.25$
内部摩擦角 ϕ (度)		37	37

表－2 支持条件

方向	反力部の支持	側方部の支持
水平方向	拘束	拘束
鉛直方向	拘束	拘束
回転方向	自由	自由



図－3 アンカーボルト上端部の荷重－変位曲線



図－4 ひび割れ進行状態

4. 解析結果及び考察

アンカーボルト上端部の荷重－変位曲線について、骨材寸法の違う3つの供試体の解析結果を図－3に示し、それぞれの最大耐力における主ひび割れと周囲の微細ひび割れによる破壊進行状態を図－4に示す。

図－3より、最大骨材寸法 G_{max} が大きいくほど最大耐力が小さくなっており、また G_{max} が大きいくほど最大耐力以降の軟化域における傾きが緩くなる傾向がある。このことから骨材粒径の減少にしたがって骨材のひび割れ進展阻止作用が増大することがわかる。

図－4のひび割れ進行状態より、破壊領域の幅が G_{max} の大きさによって異なることが確認できる。 G_{max} が10 mmの場合は主ひび割れが蛇行する傾向が顕著であり、破壊領域の幅が大きくなっている。 G_{max} が20 mmの場合はあまり蛇行せず、1本の比較的滑らかな主ひび割れとなって進展している。 G_{max} が15 mmの場合は10 mmと20 mmとの中間の性状を示している。

参考文献

- (1) 劉 玉攀他：九州大学工学集報, Vol. 68, 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.