

骨材-モルタル平面要素の変形挙動について

金沢大学工学部

吉田 博

金沢大学工学部

梶川 康男

金沢大学大学院

○橋 吉宏

1. まえがき

コンクリートの一軸圧縮強度において最も大きく影響するのが、水セメント比である。しかしながら、コンクリートを骨材とモルタルの複合材料と見なした場合、コンクリートの強度に及ぼす影響として、骨材とモルタルの強度およびヤング率、そして界面強度、また骨材の形状や寸法などが考えられる。BuyukozturkとNilsonは、コンクリートを骨材-モルタル平面要素に理想化して、その強度は一軸圧縮より二軸圧縮の方が強くなる事を予測した¹⁾。本研究でもコンクリートの理想化として骨材-モルタル平面要素を用い、そして有限要素法によるパラメトリックな解析により、二軸載荷状態での変形および破壊特性を追求した。

2. 解析要素

解析した骨材-モルタル平面要素は、図2に示すCase I、Case II、Case IIIであり、解析は対称性を考慮して全体平面要素の $1/4$ を行った。各骨材-モルタル平面要素の骨材含有率は48%と一定にし、厚さは5cm、図2中の $1/4$ 平面要素の一辺は10cmとした。Case Iについては、解析と比較するために実験も行った。

3. 材料のモデル化

a) 骨材とモルタル 骨材とモルタルの構成式には associate flow rule を仮定し、降伏曲面として A.C.T.Chen and W.F.Chen モデルを採用した²⁾。塑性流れ速度を決定する相当応力-ひずみ関係は、モルタルの二軸載荷試験から求め、図1の指数型の曲線で近似した。クラックに対しては Smeared Crack モデルを採用し、クラック後のせん断剛性はゼロとした。

b) 界面 界面には Goodman のジョイント要素を用い、破壊規準は図3に示す Tension Cutoff を伴うモール・クーロンの規準とした。

4. 解析方法

解析は、一軸載荷に対しては変位増分解析、二軸載荷に対しては荷重増分解析で行った。それぞれの増分ステップにおいて各要素の破壊を調べ、もし破壊した要素があれば応力解放を行い、

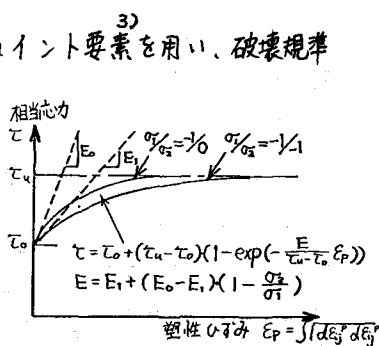
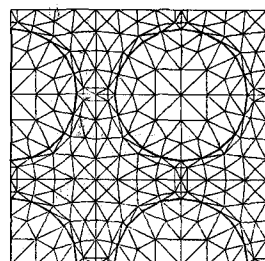
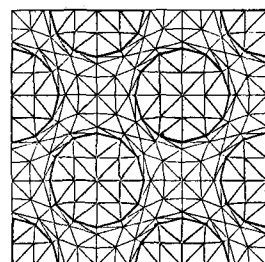


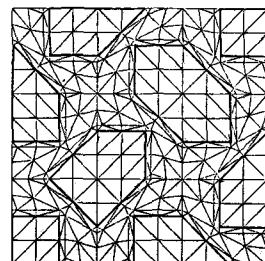
図1 相当応力-塑性ひずみ関係 (圧縮-圧縮域)



Case I



Case II



Case III

図2 骨材-モルタル平面要素 ($1/4$)

解放力による他の要素の破壊がなくなるまでこれを繰り返した。また、増分外力および解放節点力を付加する前に、各要素は塑性流れを起こすのか、それとも降伏曲面内に入ろうとするのかを調べた後に各要素の剛性を決定した。連立一次方程式の解法として共役傾斜法を用いた。

5. 供試体および実験方法

供試体は、鋼製型枠を用い Case I と同じものを作成した。使用した石材はみかげ石であり、ヤング率は 540000 kg/cm^2 、圧縮強度 1500 kg/cm^2 、引張強度 82 kg/cm^2 、ポアソン比 0.15 であった。使用したモルタルは、水セメント比 0.55 で、砂は標準砂で砂セメント比は 2 とした。モルタルの一軸圧縮強度は 425 kg/cm^2 (90日)、初期接線ヤング率 230000 kg/cm^2 、ポアソン比 0.20 であった。載荷装置は図 4 に示すように、上下方向には 40 t サーボパルサーを、水平方向には 40 t 手動オイルジャッキを用い、載荷面ではテフロンシートとシリコングリースにより端面摩擦の影響を小さくした。

6. 解析結果および実験との比較

解析結果で特に興味深いのは、図 5 に示すような一軸載荷時のクラックの伝達である。(A) は荷重 200 kg/cm^2 時の圧縮塑性域の広がり、(B) はクラックの生じ始め、(C) は最終破壊状況である。解析において、図 3 の界面の破壊規準で C を $53 \sim 85 \text{ kg/cm}^2$ 、 T を $32 \sim 51 \text{ kg/cm}^2$ と変化させたところ、骨材-モルタル平面要素の最終強度は $240 \sim 305 \text{ kg/cm}^2$ と変化した。実験では、荷重 230 kg/cm^2 で、クラックの生じ始めを示す内部ひずみの不連続点が生じ、荷重 270 kg/cm^2 で破壊へと至った。また実験では初期クラック発生点付近で、塑性理論では表現できないひずみ軟化部が認められたが、破壊形状は実験と解析でほぼ一致した。二軸載荷試験との比較、他の解析例、および考察は、講演当日に発表する予定である。

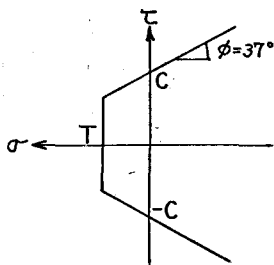


図3 Tension Cutoffを伴うモルタル-コン規準

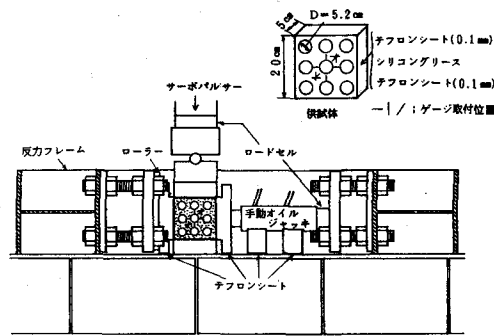
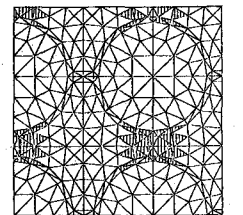
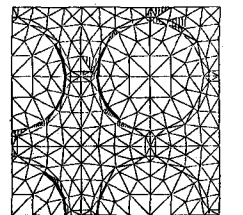


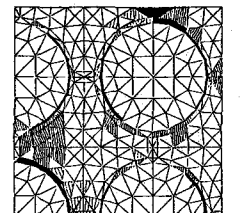
図4 載荷装置および供試体



(A) $P = 200 \text{ kg/cm}^2$



(B) $P = 215 \text{ kg/cm}^2$



(C) $P = 240 \text{ kg/cm}^2$

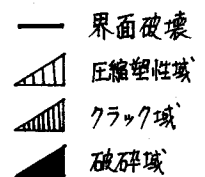


図5 解析例
($C = 53 \text{ kg/cm}^2$)
($T = 32 \text{ kg/cm}^2$)

参考文献

- 1) O.Buyukozturk, and A.H.Nilson; Finite Element Analysis of a Plain Concrete with Biaxial Loads, McGill University, CSCE, ETC, FINITE ELEMENT METHOD IN CIVIL ENGINEERING, 1972, pp.703-728
- 2) W.F.Chen; Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill, 1982, pp.347-393
- 3) R.E.Goodman, and R.L.Taylor, and T.L.Brekke; A Model for the Mechanics of Jointed Rock, Proc. ASCE, Vol. 94, no. SM3, 1968, pp.637-659