

川田 工業 正会員 橋 吉宏
 金沢大学工学部 正会員 吉田 博
 金沢大学工学部 正会員 梶川 康男

1. まえがき

コンクリートはその挙動が複雑であり、かつ不均一性を有する複合材料である。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および変形特性に影響する不均一性の要因として、骨材とモルタルの界面特性(強度、形状、配置など)が考えられる。BuyukozturkとNilsonは、コンクリートを骨材-モルタル平面モデルに理想化して、その強度は一軸圧縮より二軸圧縮の方が強くなることを予測した。本研究でもコンクリートの理想化として骨材-モルタル平面モデルを用い、そしてその骨材の形状と配置を変化させて弾塑性有限要素解析を行い、変形および破壊特性を追求した。また、界面とモルタルの構成式はダイヤランシーの影響を考慮できるように塑性理論に基づくものとし、材料のモデル化と解析方法の妥当性を検討するために、解析と実験との比較も行った。

2. 骨材-モルタル平面モデル

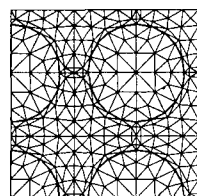
解析した骨材-モルタル平面モデルは、図-4に示す Case 1~Case 4 であり、解析は対称性を考慮して全体平面モデルの1/4を行った。各骨材-モルタル平面モデルの骨材含有率は48%と一定にし、厚さは5cm、図-4は1/4モデルであるので実際の一辺は20cmである。なお、解析と実験との比較は Case 1 について行った。

3. 材料のモデル化

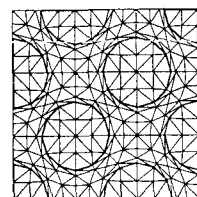
a) モルタル モルタルの構成式には、塑性ポテンシャルを降伏関数と見なした Associate Flow Rule の仮定による Chen らのモデルを用いた。また硬化則は図-1の指数型の曲線を仮定した。クラックに対しては Smearred Cracking Model²⁾を用いた。

b) 骨材 本研究で論ずる応力レベルでは弾性的に挙動するものとした。

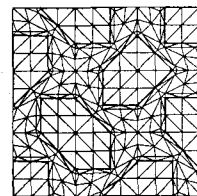
c) 界面 界面には Goodman らのジョイント要素を用いた。界面の破壊規準として、一般に図-2のような Tension Cutoff を伴った Mohr-Coulomb 規準が考えられる。しかしながら、実際のコンクリート中での界面では、せん断応力で破壊をおこそうとする界面においてダイヤランシーによる体積膨張を生じ、その結果圧縮力が作用し実際には破壊へと至らないものと考えられる。本研究では Mohr-Coulomb 規準を降伏関数とした Associate Flow Rule に基づく構成式により、このようなダイヤランシーの現象をモデル化した。ここで材料のひずみ硬化は考えてはいない。



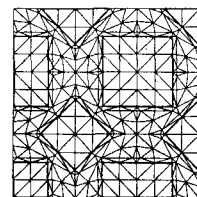
Case 1



Case 2



Case 3



Case 4

図-4 骨材-モルタル平面モデル (1/4モデル)

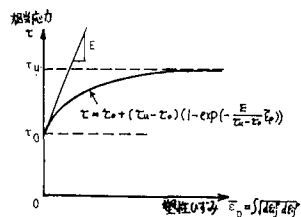


図-1 相当応力-塑性ひずみ関係

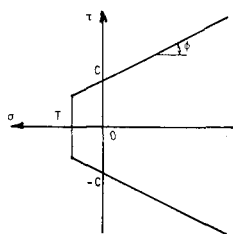


図-2 Tention Cutoffを伴う Mohr-Coulomb 規準

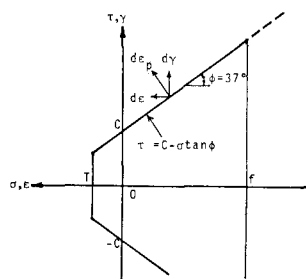


図-3 界面の降伏規準と破壊規準

具体的には次式を降伏関数とした。

$$f = \sigma^2 - (C - \sigma \tan \phi)^2$$

また界面の破壊規準は、引張に対しては Tension Cutoffにより、塑性流れをおこした界面に対しては、直応力がモルタルの一軸圧縮強度に達すると破壊をおこすものとした。

4. 解析結果

解析は一軸載荷と二軸比例載荷($\sigma_1/\sigma_2 = -1/0.5$, $\sigma_1/\sigma_2 = -1/-1$)について行った。解析では、モルタルの一軸圧縮強度 29.4 MPa、等二軸圧縮強度 29.4 MPa、初期接線ヤング率 24.5 GPa、ポアソン比 0.19、図-1中のEは 19.6 GPa、骨材の一軸圧縮強度 147 MPa、引張強度 8.0 MPa、ヤング率 52.9 GPa、ポアソン比 0.15 を用いた。これらの値は Case 1 についての実験との比較において、使用した骨材とモルタルの特性であり、試験によって求められた値である。図-5に示す解析結果によると、一軸載荷、二軸比例載荷ともに骨材の形による影響が出ており、平面モデルの面内方向にせん断応力が作用する場合である一軸載荷と $\sigma_1/\sigma_2 = -1/0.5$ の比例載荷では、Case 1 と Case 2 の比較で骨材の配置による影響が出ている。このことより、平面モデルに作用する静水圧力成分が骨材の形に関係し、偏差応力成分が骨材の配置に関係することが推測される。

5. Case 1 における解析と実験との比較

解析の妥当性を検討するために、図-6に示す載荷装置で一軸載荷ならびに二軸比例載荷試験を行った。解析と実験との比較は内部ひずみについて行い、その一例を図-7に示す。また、解析では、界面でのダイヤタンスーを考えない図-2のような Tension Cutoff を伴う Mohr-Coulomb 破壊規準を用いた場合についても比較を行った。ここで、解析で用いる $C=3.7$ MPa は、簡単な骨材の押抜き試験から得られた値である。図-7は一軸載荷時の比較である。実験では荷重 15.7 MPa で供試体の側面(面内方向自由端部)において局部的な破壊を生じたが、平面モデル供試体全体に及ぼす影響は小さなものであった。ダイヤタンスーを考慮しない場合の解析では、実験で局部破壊を生じた荷重付近で平面モデルは破壊へと至った。これに対し、ダイヤタンスーを考慮した場合は、内部ひずみと破壊荷重は実験値をよく追跡しており、ダイヤタンスーを考慮したモデル化の方が適当であると言える。他の比較例でも骨材-モルタル平面モデルの解析での挙動は実際の挙動とほぼ一致し、コンクリートの理想化としての必要条件は満足した。

参考文献

- 1) Buyukozturk, O., and A.H.Nilson; Finite Element Analysis of a Plain Concrete with Biaxial Loads, McGill Univ., CSCE, EIC, FINITE ELEMENT METHOD IN CIVIL ENGINEERING, 1972, pp. 703-728
- 2) Chen, W.F.; Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill, 1982
- 3) Goodman, R.E., 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

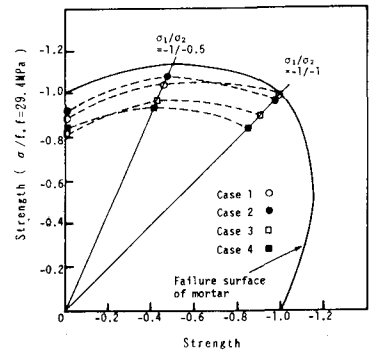


図-5 解析による強度
($C=4.4$ MPa, $T=2.9$ MPa)

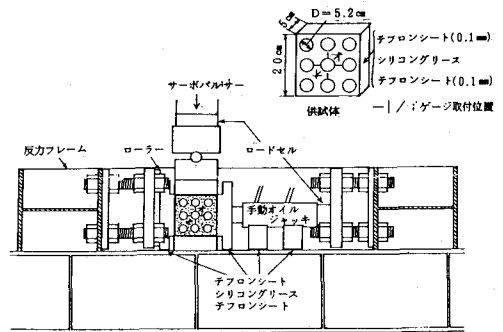


図-6 載荷装置および供試体

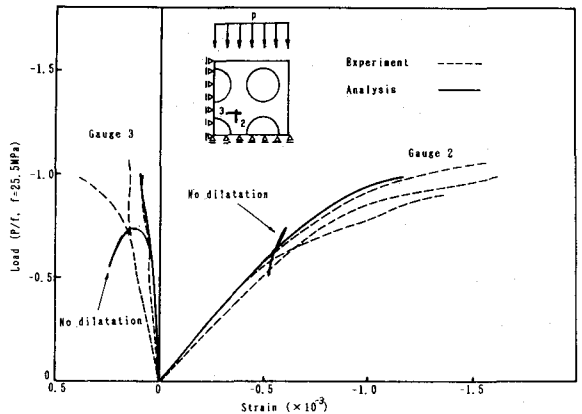


図-7 解析と実験との比較
(解析において $C=3.7$ MPa, $T=2.9$ MPa)