

北海道大学 正員 藤田 嘉夫
 " " 角田 史雄
 北海道開発局 " " 中野 修

1. あらびき

コンクリートの最終的破壊はペーストまたはモルタルマトリックスにおいて微細ひびわれの臨界的伝播が起きたときに生ずる。従ってマトリックスのひびわれ伝播条件はコンクリートの破壊条件を知る上に最も重要な事項の一つであるが、一方、マトリックスの応力状態は骨材の存在による平均的負担応力の低減作用と骨材界面の付着破壊に伴う応力集中の増大という相反的影響を強く受けるため、骨材のこれらの作用についても十分に明らかにしなければならぬ。本研究は、ガラス骨材を用いた単純化されたモデルコンクリートを用い、骨材とモルタルとの付着破壊条件を実験的に調べ、これをもとに有限要素法によるモデルコンクリート内の付着ひびわれの発生伝播について解析的に求め、実験的観察との対比のもとにコンクリートの付着ひびわれの基礎的性質について検討を行なったものである。

2. 骨材/マトリックス間の付着強度

骨材とマトリックスとの間の界面の付着破壊は、引張応力または引張およびせん断応力の下では界面の剝離現象として、せん断および圧縮応力下では界面のすれ現象として生ずると考えることができる。^{21,22} 本研究ではこれらの付着強度について図-1に示すモデル供試体を用い、軸引張試験および軸圧縮試験によってこれを調べた。一般に界面の付着強度には上記の組合わせ応力比の外、骨材の材質、表面状態、マトリックスの配合(水セメント比、砂セメント比)、粒径、供試体寸法、載荷速度等が影響すると考えられるが、ここでは骨材はガラスのみを用い、その表面粗度はNo. 100のサンドペーパーで一定に処理したもの(Rough)およびNo. 240で処理したもの(Smooth)の2種、マトリックスの配合は $W/C = 0.5, 0.6, 0.7$ の3種、 $S/C = 1$ および2の2種、粒径は $\phi 7.5$ および 28 の2種とした。

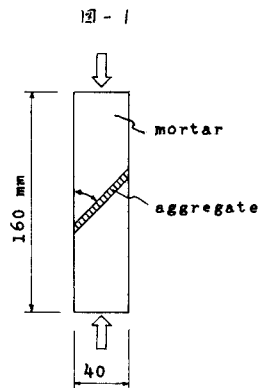


図-2

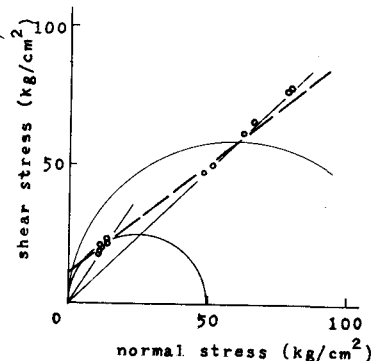


表-1

Aggregate	Material	Glass			
	Surface	Rough		Smooth	
Mortar		C	φ	C	φ
W/C	S/C	(kg/cm)	(deg.)	(kg/cm)	(deg.)
0.5	1	17.9	39	7.1	43
0.6	1	11.4	38	7.5	40
0.6	2	10.5	42	6.0	40
0.7	2	11.5	40	6.6	42

得られた試験結果の一例を図-2に示す。また、試験結果をクーロン・モールの破壊理論を用いて整理した結果は表-1に示すとおりである。これより主な結果についてまとめれば、i) 圧縮応力域では付着破壊時のせん断応力値は直応力にほぼ比例する。ii) 骨材の表面粗度がせん断付着強度に最も大きな影響をもつ。iii) マトリックスモルタルの水セメント比および砂セメント比の界面付着強度に対する影響は小さい。iv) 本実験では粒径 28 の付着強度は粒径 7.5 よりも低くなった。

3. 界面付着とコンクリート圧縮強度

骨材が多数配列された実際のコンクリートにおいては、界面の付着性状に対して上記の外、さらに単位骨材量、骨材の粒径または粒度分布、骨材間隔、骨材の形状なども大きな影

響をもつと考えることができる。ここでは骨材として直径 10, 15, 20, 25, 30 および 40 mm のガラス円柱を用い、モルタルは水セメント比を 0.5, 0.6 および 0.7, 砂セメント比を 1 および 2 の組合わせの中より 4 種、試験材令は 1, 3, 7 および 14 日とし、種々の単純化された骨材配列をもつコンクリート 2 次元モデル供試体について圧縮荷重試験を行ない、内部のひずみ状況、ひびわれの発生伝播、破壊状況などについて調べた。図-4 は試験に用いた骨材配列の一例を示したものであり、供試体の奥行き方向の厚さは 5 cm である。

この実験の結果得られた主な点としては、骨材界面の付着ひびわれの発生伝播に対して、骨材の表面粗度が前の実験と同様に大きな影響をもつことが示されたこと、用いた供試体の骨材体積率が比較的小さかったため、破壊強度に対する骨材粒径などの影響は小さく、モルタルの品質による影響が大きく現われたことなどである。

4. 有限要素法による付着ひびわれのシミュレーション

上記の実験をもとに、コンクリートの付着ひびわれの発生伝播について、モデルコンクリートの内部応力の有限要素法による数値解析によって調べ、実験結果と比較検討を行なった。解析に用いたコンクリートの骨材配列モデルは図-4 に示すとおりである。これは 2 軸対称性をもつので解析はその 1/4 に対し、三角形要素を用いて行なった。要素分割は図-5 に示すとおりで、要素数は 275、節点数は 161 である。

解析には、付着ひびわれの発生条件として 2. に述べた実験結果に従い、図-3 に示す破壊基準を用いた。付着ひびわれが発生するまでは弾性挙動を示すものとし、平面応力状態を仮定した。界面が軸圧縮領域において図-3 の限界せん断応力度を越えたときに圧縮せん断付着破壊が生じ、クーロン・モールの式における粘着抵抗が失われ、界面のすべりに対して摩擦抵抗のみが存在すると仮定した。解析上はこれを 2 つの段階に分けて行ない、第 1 段階では応力-ひずみ関係式において界面要素の $\sigma = 0$ とし、第 2 段階で $\tau_f = \sigma_n \tan \phi$ (σ_n : 界面の直応力, ϕ : 摩擦角) を等価節点力に換算することにより、再計算を行なった。引張付着破壊基準を越えた場合には、界面において直応力およびせん断応力のいずれもひびきしないように置き換えた。

上述のコンクリートモデルに対して行なった計算例を図-6 に示す。これによれば 3. に述べた実験におけるひずみ測定で観察されたのとはほぼ同じ荷重レベルにおいて、先ず界面の圧縮せん断破壊が生じ、続いて引張せん断付着ひびわれが発生伝播する状況がとらえられた。

以上より、コンクリートの付着ひびわれ発生条件として、上記の破壊基準を用いたシミュレーションが、その定量的把握においてもかなり有効であることがわかった。

図-3

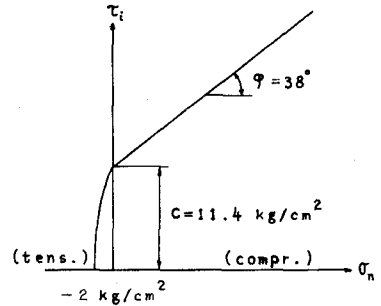


図-4

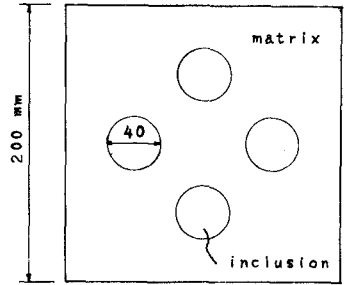


図-5

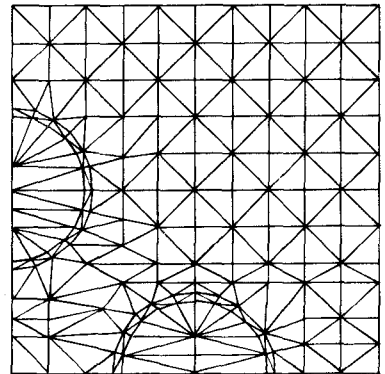
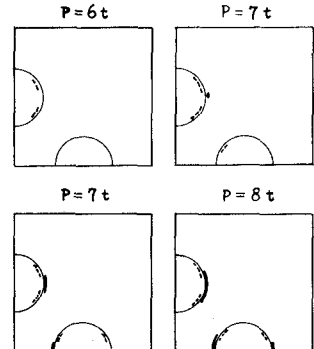


図-6



- 1) Taylor, M. A. and Broms, B. B., Journal of A. C. I., Aug. 1964
- 2) Buyukozturk, O., Nilson, A. H. and Slate, F. O., Journal of A. C. I., Aug. 1971 and ASCE, EM3, June 1972