

北海道大学工学部 正 奈良 久
 熊谷 組 〃 林 憲正
 北海道大学工学部 〃 佐伯 昇

1. まえがき

コンクリート中の骨材とモルタルマトリックスとの界面の付着強度を知ることは複合材料としてのコンクリートの変形および破壊、耐久性などを論じる上で重要な問題である。著者らはこの界面付着強度に影響を及ぼす要因について先に報告したが、本研究ではさらにデータを加え、これにより先に重要要因として明らかにした骨材の物理的性質のうち弾性係数、ポアソン比、および表面凹凸による面積増加割合（面積比）の各々について、Mohr-Coulomb の破壊包絡線による界面付着強度の表示における付着力および内部摩擦係数との関係について検討するとともに、界面の破壊状況に関する考察を行なった。

2. 実験概要

コンクリート中の骨材とモルタルマトリックスとの界面の付着強度に影響を及ぼす骨材の物理的性質のうちその影響度が比較的大きいと思われる弾性係数E、ポアソン比 ν 、面積比 λ の各々とMohr-Coulombの破壊包絡線によって表示された界面の付着強度との相関性を見るため次のような実験を行なった。骨材として北海道静内川産玉砂利（直径20~60cm）を用い、表面粗さをほぼ一定とした場合の骨材の弾性係数およびポアソン比による付着強度の変化を見るため骨材の種類を表-1に示す種とする。これらの骨材の弾性係数およびポアソン比の測定は玉砂利よりコアボーリングマシンとダイヤモンドカッターによって $\phi=2\text{cm}$ 、 $h=4\text{cm}$ の内柱供試体を作製し、これらの圧縮破壊試験を行なって測定した。逆に骨材の弾性係数およびポアソン比をほぼ一定とした場合の表面粗さによる付着強度の変化を見るため表面粗さは骨材種類による自然面(N)とオモの違ひ、およびダイヤモンドカッターによる切断面(C)、ダイヤモンドカッターによる切断面を#80カーボラダムによってその粗度を自然面とカッター面のほぼ中間となるよう研摩した研摩面(P)の三種とする。これらの表面粗度は小坂製器製「表面粗さ計」により、触針5 μR ダイヤモンド針を用い、測定針圧0.5g、測定速度0.2mm/sec、測定距離10mm、うねりカットオフ値0.8mmとして測定された表面凹凸カーブを解析し、面積比 λ を算出しこれにより表示した。このようにして作られた各物理的性質の組み合わせの骨材を界面がモルタルの打設方向に対して上向きで、水平方向からの角度が50~80°となるようセットし打設、硬化後28日自水中養生した後 $\phi=2\text{cm}$ のコアボーリングマシンにより採取し図-1aに示すような付着強度試験用供試体を各物理的性質の組み合わせに対し10~15本ずつ作製した。これにより圧縮破壊試験を行なって供試体が骨材とモルタルマトリックスとの界面で破壊した場合、その時の界面の垂直

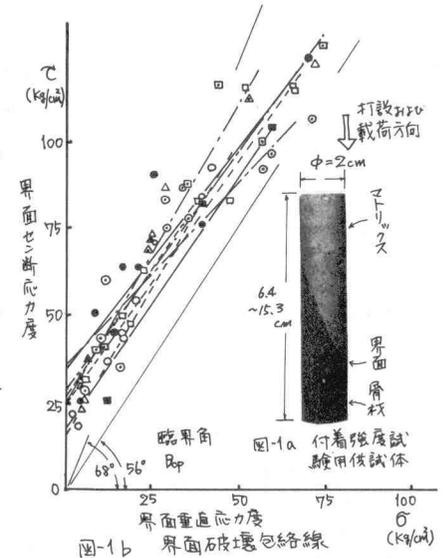
表-1 骨材の破壊応力、弾性係数、ポアソン比

記号	骨材名	σ_b kg/cm ²	E t/cm ²	ν
G-1	ミグマタイト	1051 (3.57)	347 (1.41)	0.202 (1.07)
G-2	ホルンフェルス	1916 (6.52)	656 (2.67)	0.263 (1.40)
G-3	角肉石片麻岩	1266 (4.31)	761 (3.09)	0.222 (1.18)

$(\sigma_b/\sigma_{bm}) (E/E_m) (\nu/\nu_m)$

表-2 面積比、付着力、内部摩擦係数の値

骨材	表面	λ	c kg/cm ²	$\tan \phi$	図中記号
G-1	N	1.085	34.3	1.311	—●—
	C	1.045	17.4	1.490	—■—
	P	1.174	—	—	—▲—
G-2	N	1.047	15.6	1.783	—○—
	C	1.028	24.3	1.429	—□—
	P	1.070	26.5	1.462	—△—
G-3	N	1.117	34.9	1.086	—◇—
	C	1.063	28.4	1.395	—□—
	P	1.100	24.3	1.726	—▲—



圧縮応力度 σ 、せん断応力度 τ を図1bのようにプロットし、各物理的性質の組み合わせ毎に最小自乗法によりMohr-Coulombの破壊包絡線が $\tau = C + \sigma \tan \phi$ なる直線関係とみなしてこの時の付着力 C および内部摩擦係数 $\tan \phi$ によつて界面の付着強度を表示した。

3. 実験結果および考察

本実験で得られた3種の骨材の破壊応力度 σ_B 、弾性係数 E 、およびポアソン比 ν は表-1の通りであり、同表()内の値は付着強度試験用供試体に使用したマトリックスのこれらの値 σ_{Bm} 、 E_m 、 ν_m との比を示している。マトリックスは普通ポルトランドセメントを用い、 $W/C = 0.5$ 、砂は標準砂 $S/C = 2$ とし

$\sigma_{Bm} = 294 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_m = 246 \text{ t/cm}^2$ 、 $\nu_m = 0.198$ であった。また各骨材の自然面、カッター面、研摩面の表面粗さ R_a は表-2の通り算定された。付着強度試験結果をプロットしたのが図1bであり、これより各物理的性質の組み合わせ毎に算定した付着力 C および内部摩擦係数は表-2のようであった。次に各骨材の物理的性質と界面付着強度との相関を示したのが図-2である。図-2によれば骨材の弾性係数およびポアソン比の付着強度に対する影響は直接的には明確な相関性は認められなかった。面積比 γ_A と付着強度との関係を見れば付着力 C は γ_A が大なる程大なる傾向が明らかであり、内部摩擦係数は γ_A が大なる程不変、あるいは逆に小なる傾向がある。これは本実験の場合、写真-1に示すように付着強度試験の荷重軸と垂直な面と界面のなす角度が大きい場合は界面そのもので破壊する(パターン1)が、その角度が小さくなるに従つて界面には部分的にマトリックスが付着して破壊するようになり(パターン2)、角度がある限界角(以下臨界角 θ_{cp} という)に達すると供試体は表面粗さの大小にかかわらずマトリックスで破壊する(パターン3)という破壊状況の相違が見られ、これらの3つの破壊パターンの特徴を含めた意味で破壊包絡線を描くために生じる現象である。本実験の場合の臨界角は図-1bに示すように約 $50^\circ \sim 80^\circ$ であるが臨界角の大きさはマトリックスの種々性質および界面における「グリーンング」の影響によつて変化するものと思われる。また、この θ_{cp} は写真-2に示すように本研究を行つた二次元コンクリートモデル実験において骨材とマトリックスとの界面クラックからマトリックスクラックに移行する界面の傾斜角にほぼ一致していることが認められ、実際のコンクリート中の骨材とマトリックスとの界面においてても上述のように界面の傾斜角によつて界面破壊パターンが異なるものと思われる。

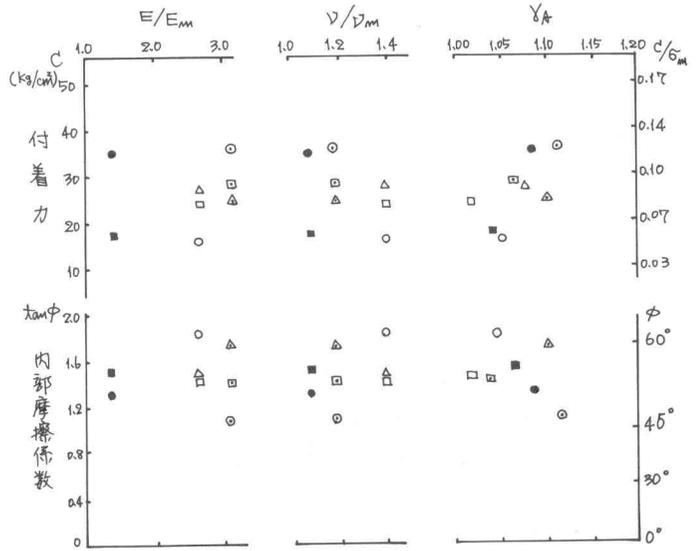


図-2 骨材の物理的性質と付着強度との関係

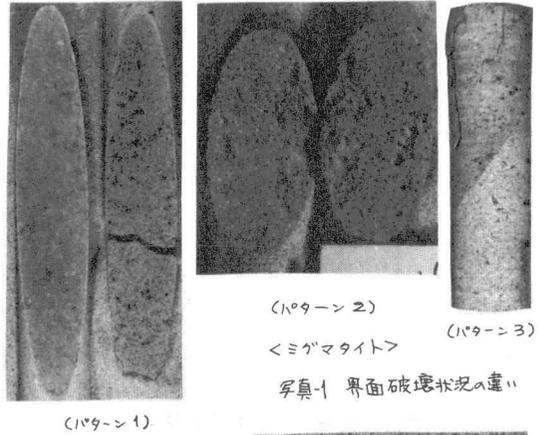


写真-1 界面破壊状況の違い

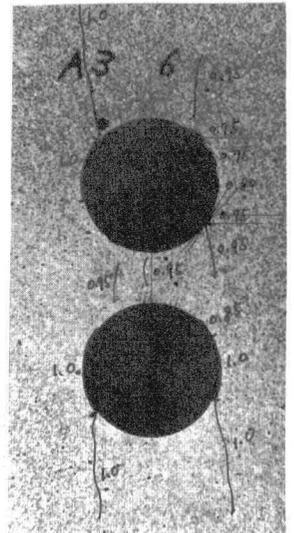


写真-2