

報告

[1004] 抗火石微粉末の焼成骨材を使用した軽量コンクリートの高強度化

中西正俊^{*1}・内藤憲一^{*2}・木村 薫^{*3}・篠崎明夫^{*4}

1. はじめに

抗火石(多孔質黒雲母流紋岩、東京都新島産)微粉末を造粒、焼成して得られた、絶乾比重0.6~0.9の超軽量骨材の基礎物性、ならびに、この骨材を使用して得られた、目標気乾比重1.4(未満)の超軽量コンクリートの圧縮強度を中心とした基礎物性、ならびに圧縮強度と水セメント比との関係はすでに報告した[1][2]。

本報告は、同骨材を使用したコンクリートの高強度化を図るために、更に改良した同骨材について、JIS A 5002(構造用軽量コンクリート用骨材)等による試験結果を示すとともに、比強度を最大にするようなコンクリートを得るための、同骨材の最適物性を定めることを目的として、同コンクリートの破壊過程と骨材性質との関係を、モデル解析法によって検討した。

2. JIS A 5002(構造用軽量コンクリート用骨材)による試験結果

2.1 使用材料とコンクリートの調合

試料は2種類の粗骨材で、使用時に大小に分級したものを1:1で混合して使用した。セメントは、3銘柄の普通ポルトランドセメントを等量混合使用した。細骨材は大井川産の川砂を使用した。粗骨材の粒径は15~5mm、細骨材の粗粒率は2.69、同表乾比重は2.63である。コンクリートの調合を表-2に示す。

表-1 骨材の比重・吸水率

骨材の種類	絶乾比重	吸水率(%wt.)
A	0.84	0.92
B	1.05	0.60

表-2 JIS A 5002コンクリートの調合結果

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				試験結果		
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	スランブ (cm)	単位容積質量 (kg/l)	空気量 (%)
A	40.1	40.0	172	429	710	344	8.5	1.655	1.7
B	40.1	40.0	172	429	710	426	8.5	1.737	1.7

2.2 試験結果

骨材の比重・吸水率試験結果を表-1に、コンクリートの圧縮強度試験結果を表-3に示す。

3. 高強度軽量コンクリートの試験結果

3.1 使用材料とコンクリートの調合

*1 清水建設(株)技術研究所開発研究部主任研究員、工博(正会員)

*2 清水建設(株)建築本部工業化推進部、部員

*3 新島物産(株)開発部、部長

*4 清水建設(株)建築本部工業化推進部、副部長

骨材、セメント、ならびに練り混ぜ水は2.1と同じものを使用した。その他に、混和材はシリカ質混和材、混和剤は高性能A E減水剤（アニオン型特殊活性材）ならびに空気量調整剤を使用した。コンクリートの調合を表-4に示す。

表-3 コンクリートの圧縮強度試験結果

コンクリートの種類	圧縮強度 (kg/cm ²)	
	材令7日	材令28日
A	431	518
B	449	546

表-4 軽量高強度コンクリートの調合等

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)							試験結果		
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材	混和剤	A E助剤	スランプ	単位容積質量	空気量
			W	C	S	G		C×%	C×%	(cm)	(kg/l)	(%)
22-B	22.0	36.9	156	709	547	375	71	3.8	0.05	20.5	1.858	2.5
30-A	30.1	39.0	166	552	623	316	55	2.2	0.04	20.0	1.712	2.6
30-B	30.1	39.0	166	552	623	392	55	2.2	0.04	21.0	1.788	2.6
35-A	35.0	40.0	171	488	661	320	49	1.8	0.045	20.0	1.689	2.5
35-B	35.0	40.1	170	486	658	394	49	1.8	0.045	20.0	1.757	3.0

3.2 試験方法

試験方法はJIS A 1138にしたがった。供試体は、JIS A 1116にしたがって試料を採取し、JIS A 1132にしたがって作成した。材令は7日および28日とし、供試体端面の処理は機械研磨とした。なお、使用したミキサは容量50リットルのパン型強制練ミキサである。

3.3 試験結果

コンクリートの圧縮強度等の試験結果を表-5に示す。

表-5 軽量高強度コンクリートの圧縮強度等試験結果

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)		圧縮強度比	静弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²)		割裂引張強度 (kg/cm ²)
		材令7日	材令28日	材令28日	材令7日	材令28日	材令28日
		22-B	22	757	866	72	2.52
22-モルタル	22	922	1197	100	3.13	3.71	65.6
30-A	30	611	683	64	2.17	2.38	34.3
30-B	30	671	789	74	2.36	2.62	41.9
30-モルタル	30	862	1068	100	2.98	3.55	62.6
35-A	35	571	663	72	2.05	2.39	36.1
35-B	35	581	736	80	2.27	2.54	32.6
35-モルタル	35	707	922	100	2.77	3.37	53.1

4. 軽量骨材の力学的性質

4.1 既往の調査方法

現在までに提案されている骨材の力学的性質の調査方法としては、直接調査方法とコンクリー

トの力学的性質から間接的に推定する方法がある[3]。

4. 2 筆者らによる調査方法とその結果

筆者らは試料に用いた2種類の粗骨材の圧縮強度、引張割裂強度、弾性係数、ならびにポアソン比を、粗骨材から切り出した $\phi 10 \times 10$ mm円柱供試体によって直接測定した。それらの結果を表一6に示す。なお、比較のために友澤らの推定による砂岩碎石の値[4]をあわせて示す。

5. モデル解析

ここでは4. で求めた測定値を用いて、これらの骨材を使用したコンクリートの破壊過程に関してモデル解析を行った。なお、比較のため表一6に示した碎石を使用した高強度コンクリート[4]についても同様の解析を行った。

5. 1 解析方法の概要

解析モデルとしては、コンクリートの破壊過程についての基礎事項を理解する上で有用な、モデル骨材を1個だけ配したユニットモデルコンクリート[3]を使用し、解析方法としては有限要素法を使用した。なお、使用した要素は3点三角形平板ならびに4点四角形アイソパラメトリックのシェル要素である。

(1) 解析上の仮定

解析に用いたモデルコンクリートの要素の分割は図一1に示すように、小阪らの方法[3]に準拠した。母材モルタル及び骨材の引張クラックならびに両者間の付着クラックの取扱いも、小阪ら[3]と同様に重複節点法を用いた。すなわち、相隣り合う要素の最大主応力度の平均値が引張強度を越えた場合にクラックが発生するものとし、両要素間の節点の結合を解除した。なお、本解析では試験体に局部圧壊が生じた時点で計算を中止した。

(2) 入力データの材料特性

母材モルタルならびに骨材は弾性的に挙動するものとした。これらの材料特性を表一5、6に示す。

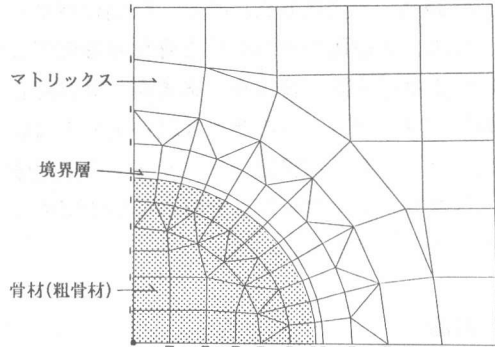
5. 2 解析結果とその考察

粗骨材に砂岩碎石を使用した高強度コンクリート[4]、ならびに本軽量コンクリート(22-B, 35-A)の解析結果を図一2~4に示す。ただし、各図中の太線は重複節点を結んだ要素境界線(クラック)を示し、数字は発生の順序を示す。

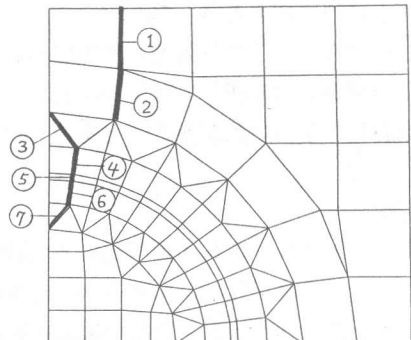
表一6 軽量骨材の力学的性質の測定結果

骨材の種類	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張割裂強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (x10 ⁵ kg/cm ²)	ポアソン比
A	698	67.0	1.454	0.284
B	999	65.6	2.14	0.24
碎石	(2000)	(120)	4.683	(0.3)

注：() 内の数値は筆者(中西)らの仮定値である。



図一1 要素分割図



図一2 解析結果(砂岩碎石[4])

(1) 砂岩碎石使用高強度コンクリート

図-2に示すように、母材モルタルの引張クラック、母材モルタルと骨材間の付着クラック、骨材の引張クラックの順に破壊が進行し、その後母材モルタルに局部圧壊が生じたため計算を中止した。なお、最初の母材モルタルの引張クラックは $0.783F_c$ (F_c :コンクリート圧縮強度)で発生した。

(2) 本軽量コンクリート

図-3、4に示すように、母材モルタルと骨材間の付着クラック、母材モルタルの引張クラック、骨材の引張クラック、ふたたび母材モルタルの引張クラックの順に破壊が進行した。なお、最初の母材モルタルの引張クラックは、 $0.374F_c$ (22-B), $0.362F_c$ (35-A)で発生した。また、破壊のパターンは、骨材Aを使用した"35-A"と骨材Bを使用した"22-B"とはほぼ同一のようであるが、砂岩碎石使用高強度コンクリートのそれ(図-2)とはかなり異なっている。本軽量コンクリートの圧縮強度は、母材モルタルならびに骨材の引張強度によってきまるようである。

6. 結論

抗火石微粉末を造粒、焼成して得られた超軽量骨材を使用したコンクリートの高強度化を図るために、更に改良した同骨材について、JIS A 5002等による試験の結果を示した。

本軽量骨材の力学的性質を直接測定し、これらの測定値を使用して、本骨材を使用したコンクリートの破壊過程に関して有限要素法によるモデル解析を行い、普通コンクリートと比較してその破壊過程に著しい差があることを示した。

参考文献

- 1) 中西正俊・九々正武・篠崎明夫・内藤憲一：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの諸物性、コンクリート工学年次論文報告集、10-2, pp.595-600, 1988
- 2) 中西正俊・九々正武・篠崎明夫・内藤憲一：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの圧縮強度と水セメント比との関係、コンクリート工学年次論文報告集、12-1, pp.727-732, 1990
- 3) 小阪義夫・谷川恭雄：人工軽量骨材コンクリートの力学的特徴について、日本建築学会論文報告集、第240号・昭和51年2月, pp.21-29, 1976
- 4) 友澤史紀・野口貴文・小野山貫造：高強度コンクリートの応力ひずみ曲線に及ぼす粗骨材の影響、第46回セメント技術大会講演集、pp.890-895, 1992

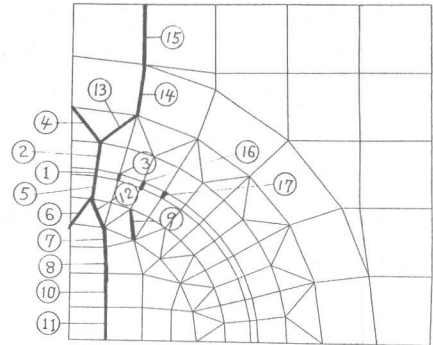


図-3 解析結果(22-B)

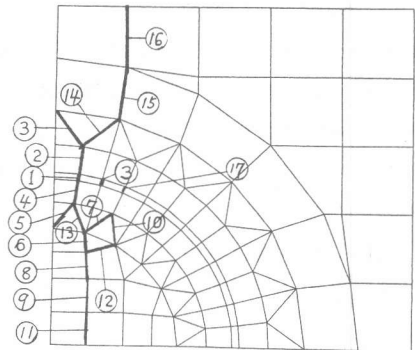


図-4 解析結果(35-A)