

1. まえがき

この研究は 通常使用される コンクリート材料を用い 現場打ちにより 超高強度コンクリートを製造する場合に生ずる コンクリートの性状の改善に関する検討を行なったものである。

対象とした UHSC は 生コンとして製造され ミキサー車によって運搬できるようにして適用範囲の拡大を図り 現場打ち PC 桁に使用することを考慮して 養生方法 養生温度など 一般的な施工条件に適する性状をもち 凍結融解抵抗性の改善を図って 寒冷地における使用を可能にした。

UHSC の性状改善効果は コンクリート試験により確認し その機構を解明するため パーストについて X線回折、不揮発性水分測定 水銀圧入式ポロシメーター、走査型電子顕微鏡、核磁気共鳴(N.M.R) および等温脱着などの手法を用いて検討した。

2. 使用材料

性状改善のため 化学成分が $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{F}_2$ よりなる溶融して得た 膨張材を使用している。この混和材は Mタイプ膨張材(以下 CSA-M)に属し 粉末度 6000 mg/g 程度に調整したものである。鉱物組成は C_{12}A_7 と CaSO_4 よりなる。この使用量は膨張しない範囲を確かめセメント量の 5%とした(図-1)。セメントは 早強ポルトランドセメント、減水剤には 高強度用減水剤、骨材は良質の碎石を使用した。

3. 試験方法および試験結果

3.1 コンクリート試験

配合は、CSA-M の効果を確かめるため CSA-M 添加と無添加の二種とし 比較試験を行なった。比較は水中、気乾養生別の諸性状(表-1) 養生温度の影響、凍結融解抵抗性について行なった。(図-2.3)

3.2 セメントパーストによる検討

気乾養生におけるパーストの水和 CSA-M 添加、無添加の二種のパースト供試体について 水中養生と気乾養生を行ない 水和状況を検討した。供試体は コンクリート供試体と 寸法を対応させるため $\phi 20\text{mm}$ 長さ 100 mm の硬質塩ビ管に パーストを充填し 両端を開放のまま 24時間 20°C RH 80% の室内で養生し、その後 20°C の水中と、 20°C RH 70% の室内で養生した。材令 5 時間から 1 年まで X線回折、不揮発性水分の測定により 水和を追跡した。(図-4.5)

異なった養生温度におけるパーストの水和 養生温度の影響を調べるため 前記供試体を 5°C 、 20°C 、 60°C で養生し 水和を追跡した。図-6は 水和率から Jander 式により計算した水和皮膜厚を示す。図-7には 養生温度 5°C の場合の細孔分布の推移を示す。

凍結融解抵抗性への影響 UHSC の凍結融解抵抗性は、図-3に示すように 養生方法、% の影響が大きく、図-8(スライド)に示すような特殊な破壊性状を示す。この原因を調査するため パーストの細孔試験を行ない図-9.10を得た。調査の結果は 気乾養生では 水中養生に比較し 大きな細孔分布に片寄っていることが明らかで この傾向は CSA-M の添加によって かなり緩和されている。とくに 28 日材令で CSA-M 添加のものは 添加しないものに比較し 75 μ 以上の細孔が顕著に減じており これが凍結融解抵抗に良好な影響を与えていると思われる。走査型顕微鏡によって 凍結融解試験前後の細孔内部を観察したところ 図-11(スライド)の映像が得られた。

CSA-M の初期水和への影響 CSA-M による初期水和への影響を検討するためのエトリンカイドの生成速度

セメントの発熱曲線、ペーストの硬化収縮、ペーストの等温脱着、NMRなどの実験を行なった(図12,13,14)

4. 結論

(1) 低 ω/c のUHSCは、普通水準の ω/c のコンクリートとは異なった水和性状を示す。低 ω/c のコンクリートの水和は、水和の初期に長期材令の水和量が決まり、後に回復しない。したがって、初期の水和量を高めることがUHSCには重要な問題となる。

(2) 気乾養生のUHSCは、乾燥のため、水中養生に比較し、水和が停滞し、初期の水和量が少なく、水和の停滞は長期間、回復しない。このため、細孔の充填も行なわれず、粗い細孔分布となる。

(3) UHSCの強度および凍結融解抵抗性は、気乾養生では、水中養生に比較し、著しく低い。

(4) CSA-MをUHSCに添加することによって、水和を促進し、強度および凍結融解抵抗性を実用段階まで改善できる。

(5) CSA-MのUHSCに与える影響は、まだ固まらない初期の段階においては、エトリンジェイドの結晶が生成し、その結晶水として固定する大きな水量によって、実質的に ω/c を低下するほか、初期水和を促進し、水和量を増大させる。この増大した水和量は、長期材令まで持続する。

(6) CSA-Mによる、水和の促進作用は低温度まで有効であるため、寒中コンクリートにも通ずる。

謝辞 この研究は、昭和48年度、吉田研究奨励金を授与しております。研究に当っては、終始、東大樋口芳朗博士、都立大、村田二郎博士の指導を受けました。実験は、電気化学工業KK、三宅信雄氏、中川晃次氏ほかの皆さんによって熱心に行なわれたことを記し、謝意を表します。

Table 1.. Effect of the CAS-M for UHSC. (Curing at 20°C, R.H. 70%)

Composition of concrete						* Sign of physical property	Water curing (20°C)					Air curing (20°C, R.H.70%)				
Cement	Amount of CSA-M	W/C	S/a	Water- reducing agent	Slump		1day	7	28	56	1year	1day	7	28	56	1year
(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(%)	(cm)	σ_c	—	715	802	877	910	351	620	712	730	750
						σ_b	—	69.8	73.6	72.5	73.8	—	68.3	66.8	69.5	67.4
						σ_t	—	55.7	56.1	56.5	56.3	—	54.9	56.8	57.7	56.5
800	0	30	32	1.2	18.5	$E \times 10^4$	—	3.71	3.82	—	—	—	3.30	3.72	—	—
						ϵ max	—	3080	2950	—	—	—	2680	2540	—	—
						μ	—	0.19	0.20	—	—	—	0.19	0.20	—	—
						σ_c	—	772	867	892	951	568	789	852	878	884
						σ_b	—	69.6	95.3	101.2	100.8	—	60.9	66.2	67.3	67.8
						σ_t	—	58.8	59.3	60.8	61.1	—	55.7	55.7	56.2	56.8
800	30	30	32	1.5	18.0	$E \times 10^4$	—	3.86	4.28	—	—	—	3.56	3.92	—	—
						ϵ max	—	2680	2870	—	—	—	2810	2440	—	—
						μ	—	0.21	0.22	—	—	—	0.20	0.21	—	—
						σ_c	—	772	867	892	951	568	789	852	878	884

* Designation
 σ_c : Compressive strength, (kg/cm²)
 σ_b : Bending strength, (kg/cm²)
 σ_t : Tensile strength, (kg/cm²)
E: Young's modulus.

ϵ_{max} : Ultimate strain of compression. (μ)
 μ : Poisson's ratio.

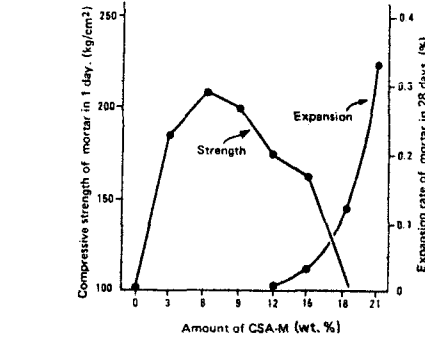


Fig. 1. Relations between amount of CSA-M and compressive strength and expansion.

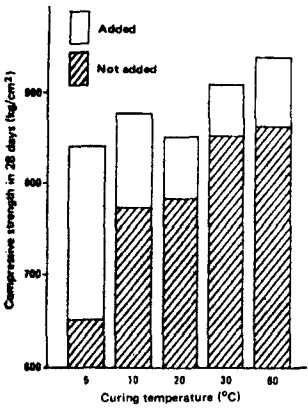


Fig. 2. Effect of the CSA-M addition for UHSC under the curing of various temperature. (Ref. Table II)

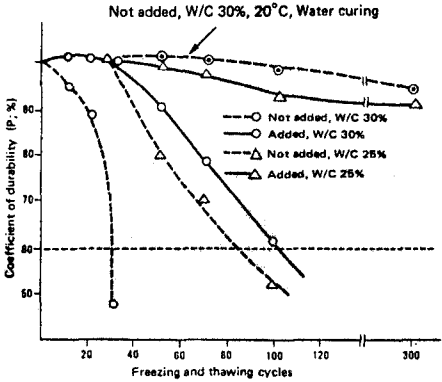


Fig. 3. Freezing and thawing resistance of the UHSC by method of ASTM-C290.

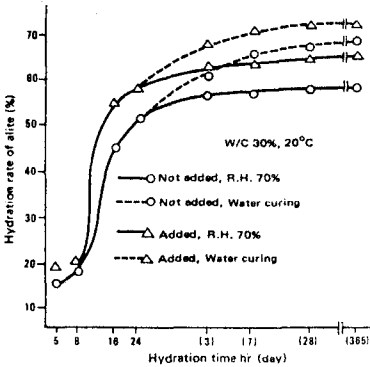


Fig. 4. Hydration rate of alite by XRD.

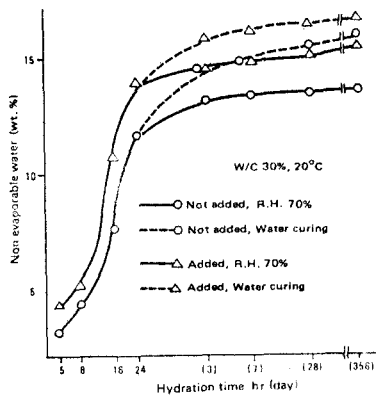


Fig. 5. Non evaporable water in paste by loss on ignition at 900°C.

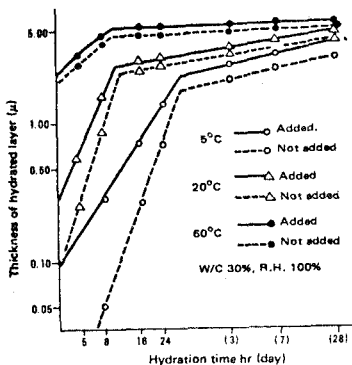


Fig. 6. Thickness of hydrated layer vs. hydration time of alite.

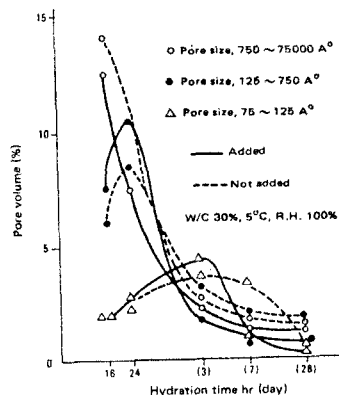


Fig. 7. Variation of pore size distribution vs. hydration time of paste.

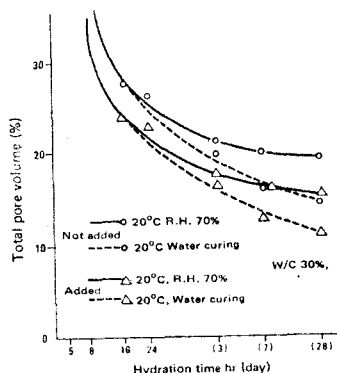


Fig. 9. Variation of total pore volume vs. hydration time of paste.

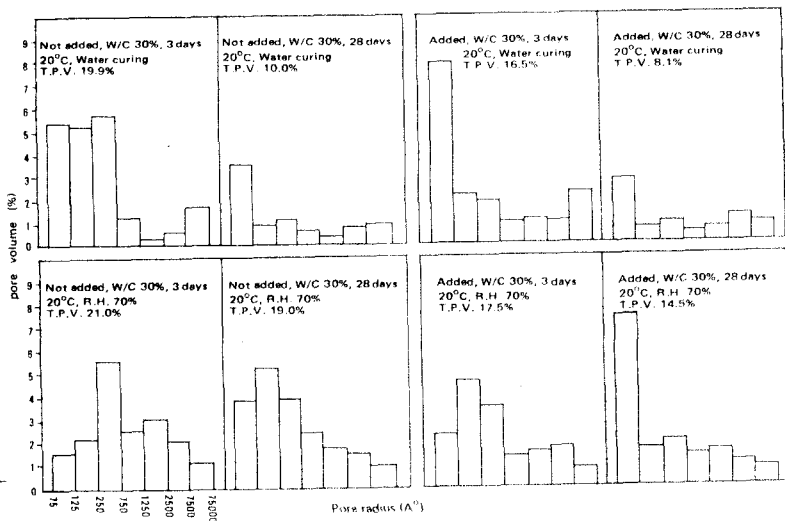


Fig. 10. Pore size distribution of the hydrated paste in different condition. (T.P.V. indicates total pore volume.)

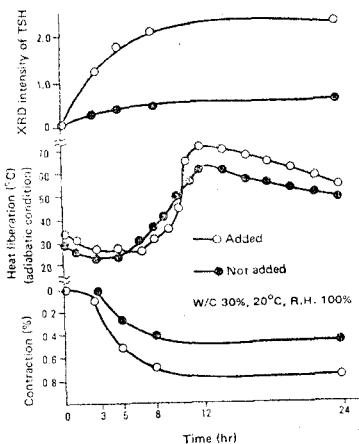


Fig. 12. Formation of TSH; heat liberation; contraction of paste vs. hydration time.

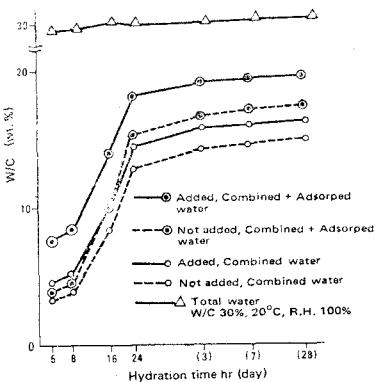


Fig. 13. Examination of water forms in paste determined by water vapor desorption.

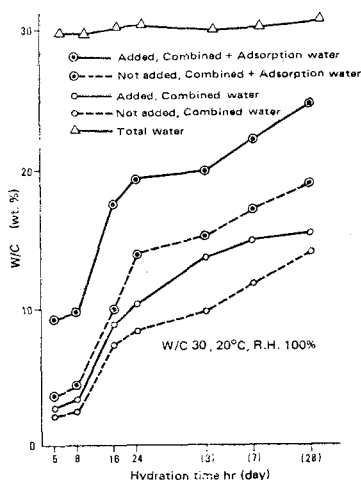


Fig. 14. Examination of water forms in paste determined by NMR.

注. 図-8.11 は 当日 スライドにより紹介する.