

日本大学理工学部 正会員 関 禎吾
新構造技術(株) 正会員○松村英樹

まえがき

膨張セメントコンクリートが土木構造物の多方面に利用されつつある。しかし、膨張セメントの水和物、水和過程、膨張機構、硬化後の内部組織構造などについて十分解明されておらず、これらの点についての研究の必要性をACI 223委員会では指摘している^①。本報告では、膨張コンクリートの内部組織構造とクリープの関係から推論を立て、クリープ試験を通して膨張コンクリートのクリープ特性に考察を与えた。

1. 膨張コンクリートの内部組織とクリープに関する一推論

本実験で使用したCSA系膨張材を混入したセメントの水和膨張の原因は、Ettringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) の生成にあると一般的に認められている^②。またコンクリート中の石こうが全てEttringiteの生成に用いられると、Monosulfate ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) に転移すると言われている^③。表-1によると、この転移によって密度が増加する。さらに、この転移によって水和物の容積が収縮すると言われている^④。つぎに、EttringiteがMonosulfateに転移する時期は、かなり材令が経過した時であると思われる^⑤。この時期には、普通ポルトランドセメント中に存在する C_3S 、 C_2S などの水和物(Tobermorite)がEttringiteの囲りに緻密な組織を造っており、この転移による収縮は、硬化体の体積減少にならず、硬化体中の空げきの増加になるものと考えられる。(図-1参照)

つぎに表-2から、Ettringiteは他のセメント水和物に比べて結晶中に水を多く含んでおり、この水は分離し易い状態にあると言われている^⑥。

以上から、膨張コンクリートはEttringiteからMonosulfateに転移することによりポーラスなコンクリートになりクリープ歪は普通コンクリートに比べて大きくなると思われる。また、転移前でもEttringite中の水がSeepage現象によって、しぼり出される時に、クリープ歪は普通コンクリートよりも大きくなると推測される。

以上の推論を裏付けるのに以下に示す実験を行った。

表-2 各水和物の単位格子中の各構成物の割合^④(単位Å)

	Ca ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	S ⁺⁺	O ⁻	Si ⁺⁺	OH	H ₂ O	Void	Total
Ettringite	29.93 (12.42)	1.55 (0.18)	0.19 (0.02)	115.6 (9.87)		305.65 (25.68)	488.10 (40.85)	74.25 (6.17)	1176.77 (100)
Monosulfate	19.96 (8.22)	1.55 (0.17)	0.065 (0.01)	38.64 (2.62)		305.65 (25.68)	198.09 (16.50)	8.236 (-1.65)	661.95 (100)
11Å Tobermorite	26.94 (5.38)			144.44 (33.25)	1.498 (0.32)	48.08 (4.77)	106.06 (21.67)	135.99 (28.68)	463.874 (100)

* マイナスは各構成物を球形と仮定した時の空隙と見られる。

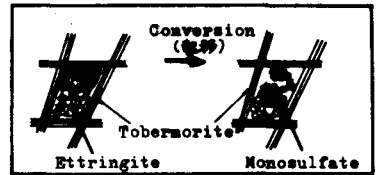


図-1 膨張コンクリートの内部組織構造

2. 実験方法

本報告における実験では、40℃温水中及び銅板密封し18℃、湿度70%の空気中において、鉄筋拘束のあるものと、ないものについて圧縮クリープ試験を行った。鉄筋拘束のあるものについては、ケミカルプレストレスの検討を行った。鉄筋拘束方法については、図-2に示した。クリープ試験用コンクリート供試体の材料には普通ポルトランドセメント、CSA系膨張材を用い、W/C、W/(C+K)は55% (但しK; 膨張材量)とし、膨張材混入率はセメント重量の0%、15%とした。供試体の大きさはφ15×60cmの円筒形である。40℃

湿水中クリープ試験には図-3に示した装置を用い、温度制御には熱帯魚水槽用サーモスタットを使用した。また、ひずみ測定にはカルソン型ひずみ計を使用し、クリープ試験装置には、油圧式載荷装置を使用した。載荷時のコンクリートの材令は、28日であり、載荷応力は載荷後20日までは 6.0 kg/cm^2 、以後 9.0 kg/cm^2 とした。さらに、クリープ試験用供試体と同配合の膨張セメントペーストについてX線回折試験及び水銀圧入法による細孔径分布の測定を、材令7日及び28日について行った。

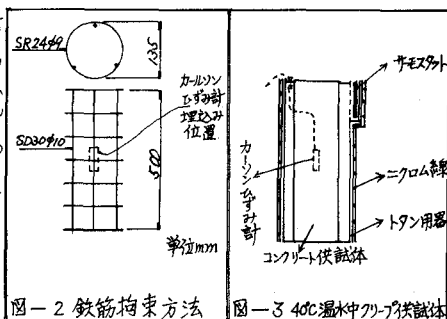


図-2 鉄筋拘束方法

図-3 40℃湿水中クリープ試験装置

3. 実験結果

クリープ試験の結果を図-4~5に示した。この結果から判断すると、実験を行う前に立てた推論通りに膨張コンクリートのクリープ歪は、普通コンクリートに比べて大きい値を示した。また、膨張コンクリート及び普通コンクリート共に、40℃湿水中のクリープ歪が、密封のものに比べて大きい値を示した。鉄筋拘束下のケミカルプレストレス導入について40℃湿水中では結局に 5.11 kg/cm^2 が残存した。密封では 0.32 kg/cm^2 が導入されたが60日で消滅した。

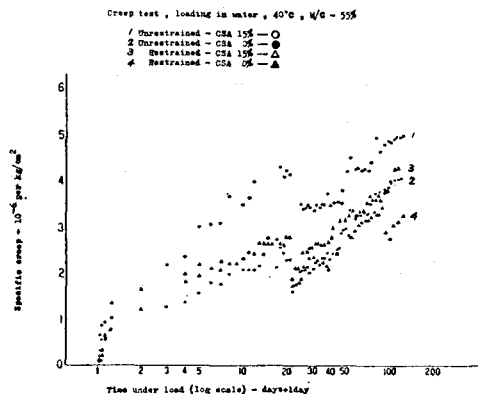


図-4 40℃湿水中左端クリープ試験結果

また、X線回折試験では材令28日まででは Ettringite から Monosulfate への転移は行なわれなかった。細孔径分布の測定では、この転移によると思われる空けきの増加は材令28日まで認められなかった。

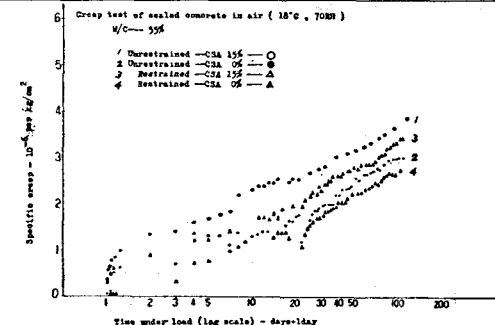


図-5 鋼板密封左端クリープ試験結果

4. 結論

膨張コンクリートの内部組織構造とクリープ歪の関係から推測すると、膨張コンクリートのクリープ歪は、普通コンクリートに比べて大きくなると思われる。この推論は、実験から裏付けられた。さらに、40℃湿水中のクリープ歪は密封のものに比べて大きい値を示した。これは、40℃湿水中に比べて密封のものの方が Ettringite の生成量が多く、Seepage 現象によってしばらく出される水の量が増え、また転移して生成する Monosulfate の量も多くなり空けきの量が増えると思われる。また、温度が高くなれば、水の粘性係数^①と、水和物と水との摩擦係数^②は低くなり、しばらく出される水の量が増えると思われる。以上から、40℃湿水中のクリープ歪は密封のものに比べて大きくなったと考えられる。さらに、本実験で導入されたケミカルプレストレスの値は他の報告のもの約1/5であり、鉄筋拘束方法の違いとケミカルプレストレスの関係についての検討が今後必要であると思われる。

参考文献 ① ACI Committee 223 Report, J. Am. Concrete Inst. Proc. 67[3] 1970 ② 坂井 康雄：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店 pp 30~31, 1965, ③ S. Chatterji, J. Jeffery: A new hypothesis of sulphate expansion, Magazine of Concrete Research, Vol. 15, No. 44 pp 83~86, 1963, ④ Laa: The chemistry of Cement and Concrete 3rd edition, Edward Arnold pp 221, 348, 1970 ⑤ Okushima, Kondo, Mugaruma, Ono: Proc. 5th Intern. Symp. on the chemistry of Cement, Tokyo 1968 Vol. 4 pp 419~435, ⑥ Taylor: The chemistry of Cement, Vol. 2, Academic press, pp 397~399, 1964 ⑦ 坂内, 中川 エリシロの加水変化, Gypsum and Lime, No. 97 pp 11~17, 1968 ⑧ 関, 他: 高温下におけるコンクリートのクリープ, 電力中研技術研報告 1973, 5, ⑨ 岡田, 他: 膨張セメントプレストレス及びクリープに関する一実験, コンクリートライブラリー 39号 pp 43~49, 土木学会 1974, 10,