「200N/mm²級超高強度コンクリートの強度・自己収縮特性における 初期高温履歴の影響メカニズム」に対する討論

(松田 拓, 野口貴文, 蓮尾孝一, 小出貴夫, 鈴木康範著 日本建築学会構造系論文集,
第76巻, 第666号, 1383-1392, 2011年8月号掲載)

DISCUSSION ON “MECHANISM OF EARLY HEAT CURING INFLUENCE ON COMPRESSIVE STRENGTH AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF OVER 200 MPA-CLASS ULTRA-HIGH-STRENGTH CONCRETE”

(Taku MATSUDA, Takafumi NOGUCHI, Koichi HASUO, Takao KOIDE and Yasunori SUZUKI,
J. Struct. Constr. Eng., AIJ, Vol. 76, No. 666, 1383-1392, Aug., 2011)

丸山一平^{*1}, 寺本篤史^{*2}, 五十嵐 豪^{*2}

Ippei MARUYAMA, Atsushi TERAMOTO and Go IGARASHI

The discussor wants the authors to answer or explain the following points:

- 1) The authors' discussion does not include a result of concrete specimen whose maximum curing temperature is 90 °C and autogenous shrinkage attained the same amount as the specimens experienced lower maximum temperature history.
- 2) The proposed theory does not based on the experimental or theoretical results in some parts.
- 3) Several references are not suitable in the context of authors' story.

Keywords : *Ultra-high-strength concrete, Autogenous shrinkage, Ettringite*

超高強度コンクリート, 自己収縮, エトリンガイト

1. はじめに

超高強度コンクリートの性能に関する研究を行っている者として、貴論文に興味深く拝見いたしました。シリカフェームを混合した極低水セメント比領域における反応プロセスについて、間接的な事実からメカニズムに関する推論を展開した論文と理解しましたが、その推論におけるいくつかの点において以下のような疑問点が出て参りましたので、質疑をお願いする次第です。

2. 実験について

本研究の端緒は、コンクリートの強度および自己収縮の最終値が初期養生温度履歴中の最高温度に応じて異なる点にある、という点から議論が進んでおります。その根拠として貴論文では、図1および図4における断熱模擬養生のデータを抽出して検討されております。しかしながら、両図にありますように凡例が○で示される温度履歴のものは最高温度として90℃を経ているながらもそれ以下の最高温度のものと同一の自己収縮量にとどまっております。この実験事実は提案されている閾値の仮説に対して疑義を生じさせるものでありますので、本論文中でどのように扱っているのかについてご説明をお願いいたします。

次に、実験条件や貴論文の理論を理解する上で重要と思われる疑問点を列挙いたしますので、補足の説明をいただきたいと思います。

- 1) 初期の流動性について、本論文ではペーストとコンクリートの「凝結時間が同等」という形で、実験的には異なる物理量を比較している記載がある(P.1384 左29行目)とともに、コンクリートとペーストにおいてSP量を比較するとペーストの方が多くなっております。質問者らの過去の実験¹⁾にもありますように、SP量が増加しますと自己収縮のタイミングは大幅に異なり、同一の温度上昇プロセスを与えると異なる挙動を示します。この点からも、本実験の信頼性を確認する上で、凝結の比較についてとSP量についての追加の説明を願います。
- 2) コンクリートでは温度上昇に伴い初期に膨張ひずみが観測され、ペーストでは収縮が示されています。原因として「コンクリートは骨材の温度膨張による膨張傾向を示すが」とありますが、一般に、骨材はセメントペーストより線膨張係数が小さい^{1) 2)}ため、このような現象が起こるとは考えにくく、この点について実験に使用した骨材の線膨張係数も含めて説明をお願いいたします。
- 3) P.1386 右2行目に記載されている「自己収縮は高温状態が長時間続くことでTmax=90℃(○)より大きくなるが、温度が20℃に

*1 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻
准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*2 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 大学院生
日本学術振興会特別研究員 DC

Graduate Student, Dept. of Environmental Engineering and Architecture, Nagoya Univ.
JSPS Research Fellow

降下する以前に停止しており、」という観点から、図4、図5を確認しますと、いずれも自己収縮は温度降下時点まで継続されており、これらの言説と一致しておりません。自己収縮のメカニズム把握の観点からは、質問者ら^りが行っているように、線膨張係数の経時変化を考慮しなくては、自己収縮やその速度変化を明瞭に抽出することはできないことが明らかになっております。本研究での自己収縮と定義されるデータの信頼性についてご説明をお願いします。

- 4) DSCでの実験がエトリンガイトの含有量の議論をしているのか、高温時の脱水量の議論をしているのか不明です。質問者らの実験では(図1参照)、合成エトリンガイトは、60℃(白神らは65℃³⁾、文献4)は60℃)で脱水を生じ、これを回復させるには20℃においては相対湿度55%以上に静置しておく必要があります。貴論文の前処理条件に関する記載では、含有量と脱水量を分離・評価できていることが示されていません。試料の調湿条件については慎重な議論が必要とされるため、実験条件を明確に記載した上で、本検討で何を定量したかを明らかにしていただきたく存じます。

図1 エトリンガイトのTG曲線と105℃乾燥後の吸着等温線

3. 推論に関して

貴論文の4章における推論過程において、根拠を理解できないものがいくつかありましたので、ご説明をお願いします。

- 5) 「C-S-H②の H_2O/SiO_2 比はC-S-H①に比べ低いと考えられ、すなわちC-S-H②生成時に必要とする結合水量はC-S-H①生成時に比べて少ないと考えられる。」と考察されていますが、そもそも式(3)、(4)は著者による定義であり、C-S-H①とC-S-H②も著者の定義であるので、この推論を成り立たせる前提として異なるC-S-Hの存在を証明する必要があると思われますが、貴論文の中には見られません。こういった観点からこの仮説の妥当性を評価するかについてご意見を伺いたく思います。なお、結合水量、あるいは H_2O/SiO_2 比は内部相対湿度によっても変化しますので⁵⁾、C-S-H①とC-S-H②の結合水量の議論は、硬化体内部の平衡相対湿度を定めた上での議論が必要と考えますが、本論文にはどの状態を仮定としているかについても不明のままです。
- 6) 「このことより、結合水率の増加に対する強度・自己収縮の増進がともに大きくなった原因は、第3屈曲点で支配的な反応生成物がC-S-H①からC-S-H②に切り替わったことが考えられる。」との記述がありますが、反応の切り替えの実験あるいは推論の根拠、

および生成されるC-S-Hが変化した後の強度増進量とC-S-H①<C-S-H②という関係に結びつくメカニズムが示されていないように思いますので、補足をいただきたく存じます。

- 7) 「このことから第3屈曲点以降でC-S-H②の単位時間あたりの生成量がC-S-H①の単位時間あたりの生成量を上回ることがわかり、上記の考察が裏付けられる。」との記述がありますが、式(3)、(4)は化学量論的に示されていないので、このような考察には至ることができずと考えられます。式(3)、(4)において、 $Ca(OH)_2$ に対するC-S-H①と②のモル量が等しいことの根拠となる実験事実についてお示しください。
- 8) 「閾値温度で起こる化学反応として、エトリンガイト量の減少とそれに伴う水の放出が考えられる」の記述でエトリンガイト量の減少とは何を意味しているのかが不明確です。モノサルフェートに転移しないという論旨であれば、エトリンガイトの減少に伴う生成物を特定したうえで、脱水を伴う転移の化学反応式を示し、脱水あるいは生成物が収縮に及ぼす影響について議論していただければと思います。

4. 参考文献について

貴論文において誤りではないかと考えられる引用がありましたので、修正あるいはご説明をお願いします。

- 9) P.1387 右2行目「これより、温度降下以降では $T_{max}=60^\circ C$ の $Ca(OH)_2$ 生成量は、 $T_{max}=45^\circ C$ より少ないと考えられる。」とする論拠で与えている杉山らの研究³²⁾においては、強度増進が停滞する現象を示すのみです。杉山らの文献から、高温履歴による強度の停滞が $Ca(OH)_2$ にあるとは記載されておらず、なにゆえ杉山らの研究が論拠となっているかについてご見解を説明ください。
- 10) P.1387 右46行目、「佐々木ら³³⁾の報告によると、混和材を使用することで H_2O/SiO_2 比が低下する。」と記載されておりますが、佐々木らの論文ではそのようなデータ、示唆される言説は示されておりません。このような引用は適切ではないと考えられます。

5. まとめ

以上のように疑問点が出て参りましたので、著者の見解をお示しください。

参考文献

- 1) 寺本篤史，丸山一平：超低水セメント比シリカフェームコンクリートの自己収縮温度依存性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.634，pp.2069-2076，2008.12
- 2) 川口 徹：コンクリートの熱膨張係数に関する既往の研究成果について，マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集，pp.15-18，1982
- 3) 三好良介，菊池健也，西部好弘，白神達也：ダイナミックTGによるエトリンガイトとモノサルフェートの個別定量，セメント技術大会講演要旨，vol.62，pp.208-209，2008
- 4) 討論対象論文参考文献35)
- 5) 田代忠一，田澤栄一，笠井芳夫：セメント・コンクリート中の水の挙動，TCR，pp.24-25，1993

(2011年8月12日原稿受理，2011年11月14日採用決定)