

福山大学工学部紀要
第13号 1991年3月

暑中環境下で施工されるコンクリートの強度 発現性状に関する研究

地濃 茂雄*

The developments of compressive strength of
concrete in high temperature ambience

Shigeo CHINO

ABSTRACT

There are some special problems involved in concreting in hot weather, where they would arise from a higher temperature of the concrete, and, in many cases, from an increased rate of evaporation from the fresh mix. Those problems cover concrete the mixing, placing and curing of the concrete.

This research comprises studies on the effects of temperature variations and the rate of evaporation of surface moisture from concrete for the developments of compressive strength of cement concrete.

The results of the studies could be summarized as follows :

Concretes mixed, placed, and cured at elevated temperatures normally develop at an early stage higher strengths than concretes produced and cured at normal temperatures, however at 28 days or more, strengths turn to be lower.

A higher evaporation of surface moisture from concrete decreases the strength of the resulting concrete.

Such tests illustrate that insufficient curing, especially in combination with high placement temperatures, impairs the hydration process and reduces strength accordingly.

Furthermore, when the mixing temperature or the temperature of dormant period of concrete has low temperature values, the long age compressive strength shows higher values than other conditions of concrete.

Key words : development of compressive strength, high temperature, evaporation, hydration

1. まえがき

気温が高い時期に、製造・施工するコンクリートは、セメントの水和反応の促進や急激な水分蒸発等が原因して、コンクリートの品質・施工面で変動が生じやすいも

のと推察される。

ひるがえって、我が国の夏季気候条件から推測すると Fig.1 に示される一例のように、地域特性はあるものの暑中環境下におけるコンクリート工事への対策が必要と

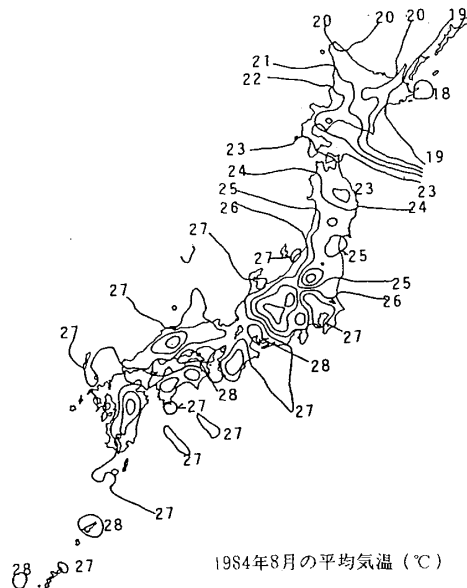


Fig.1 Thermal profile of hot weather in Japan
(Average temperature)

考えられる。

そこで本研究では、暑中コンクリート（各種の仕様書・指針では、月平均気温25℃以上を対象とするものが多い）に関する問題点を既往文献などから整理し、コンクリートが受ける温度履歴と水分蒸発に着目し、その影響を最も大きく受けると考えられるコンクリート表層部を代表させて、温度履歴・水分蒸発・強度発現性との関連を実験検討した。本報はこれらの結果についてのべたものであり、暑中コンクリート工事への基礎資料を提示したものである。

2. 暑中コンクリートの問題点と本研究の背景

数々の文献から暑中コンクリートの問題点を整理すると次のような諸点が抽出される。

1) セメントの水和反応の促進

セメントの水和発熱速度の一例によれば、高温ほど水和反応の誘導期間は短縮されて加速期は早められ、その最大値は大きくなる傾向が認められる。

2) 単位水量の増大・空気量の減少

多くの実験によれば、練上り温度が高いほどスランプは低下し、また温度の増加に対するスランプ低下割合も大きくなる。そして、空気の連行性も低下する。

3) スランプの低下

一般にコンクリート温度が高くなるほど経過時間に伴うスランプの低下は大きくなる。この原因として、水和反応初期のレオロジー量の変化、連行空気量の減少、水分の蒸発などが高温環境下で促進されるためと考えられている。

4) 運搬中のコンクリート温度の上昇

練上り温度より外気温が高い場合、運搬中のコン

クリート温度は上昇する。すなわち、運搬中のコンクリートは運搬時の気温および運搬時間の影響を受け、時間の経過に伴って外気温に漸近するように変化する。

5) 水分の急激な蒸発・ブリージングの減少

温度が一定の場合、コンクリートの温度が高いほどコンクリート表面からの水分蒸発の速度は大きくなる。これに加えて、コンクリート温度が高いほどブリージングが減少する。

6) 打設後初期のコンクリート温度の変化

外気温、水和反応による発熱、水分蒸発による吸熱等によりコンクリートの温度は変化する。

7) コールドジョイントやひび割れの発生

セメントの水和反応の促進によって、打継ぎ箇所でのコンクリートの凝結が進行し、場合によっては新旧コンクリートの打継ぎ部の一体性が失われる。

8) 初期強度の促進と長期強度増進性の低下

セメントの水和反応の促進などの影響によって強度増進性に相違が生じる。一般に高温ほど初期強度は高く、逆に長期強度は小さい傾向にある。

以上のような諸点が抽出されたが、このうち強度発現性状は基本的にセメントの水和反応に依存するので、水和温度と水分は暑中環境下のコンクリートにとって重要な要因と考えられる。したがって、コンクリート表層部は温度、水分の影響を最も受けやすい部位といえる。しかし、上述した諸点は概してコンクリートの品質管理上の実験研究結果によるもので、この種表層部を対象としたものではない。

このような背景を踏まえ、本研究では主にコンクリート表層部を対象として、以下に実験研究を進めることとした。

3. 実験方法

研究の目的から実験を二つに大別した。

まず実験 I では、基礎的な観点から標準砂モルタル（セメント：標準砂＝1：2、水セメント比65%）を試料として、打込み後の初期の温度履歴が強度発現に及ぼす影響について実験した。すなわち、実験は暑中屋外で行い、打込み温度および打込み時刻を変化させた。そして試料を4×4×16cm型わくに打ち込み、試験材令まで密封養生を保った。

実験 II では、水セメント比55%、スランプ18cmのAEコンクリート（混和剤として、AE減水剤標準型と同遅延型を使用、図中には前者をAE-S、後者をAE-Rと記号化した）からモルタルを採取し、温度履歴および水分蒸発が強度発現に及ぼす影響について実験した。すなわち、試料を4×4×16cm型わくに打込んだ後、

打込み上面を随時開放し、水分の経時蒸発量を測定した。強度発現性を求める供試体についても同様な条件を与えた。なお、打込みは温度履歴を相違させるために、7月の屋外および9月の屋外、それに10月の室内で行った。

なお、実験Iにおいては、同様な実験条件の下にセメントペースト硬化体の空隙量(5~2.5mm粒を試料として、75,000Å~75Åの細孔径分布から求まる全細孔容積)を測定し、強度発現性に関する考察に供した。

4. 実験結果と検討

4.1 強度発現に及ぼす温度の影響

打込み温度および打込み時刻を変化させて、打込み後の初期の温度履歴が強度発現性に及ぼす影響を求めた実験結果をFig.2, Fig.3に示す。

打込み後の初期に高温履歴を受けたものの強度は、いずれも標準養生の強度に比べ初期材令下では高く、長期材令下では低い。そして、打込み時刻別の結果にみられるように、気温の上昇過程時に打込んだものは、下降過程時に打込んだものに比べ、長期材令下での強度は小さい。また、打込み温度35℃と25℃との強度発現性の比較

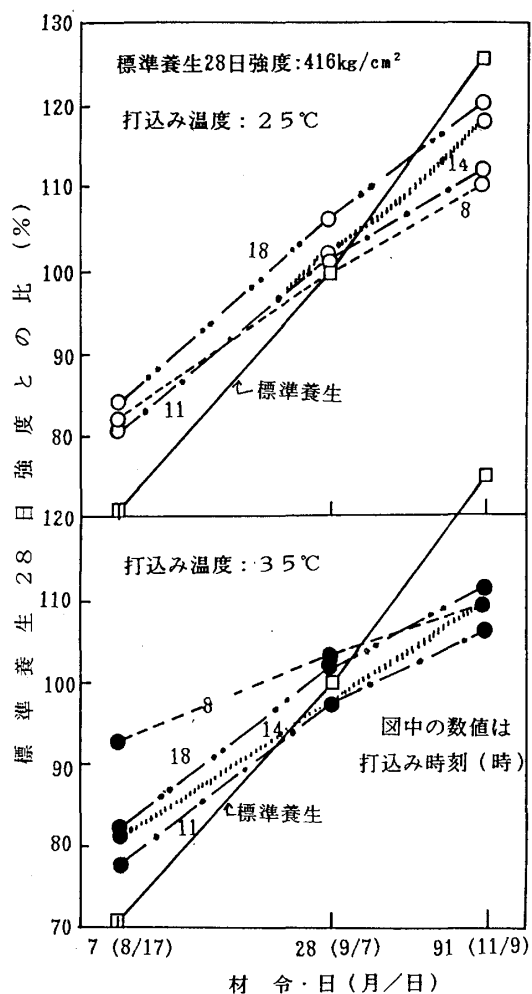


Fig.2 Effect of temperature on the development of strength

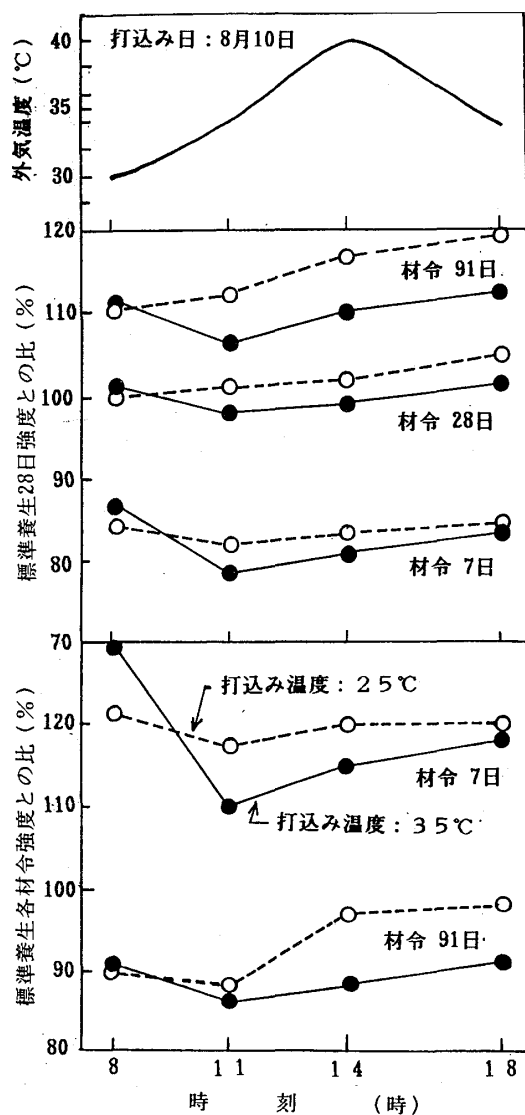


Fig.3 Strength characteristics of each mixed concrete temperature in various ambient temperatures

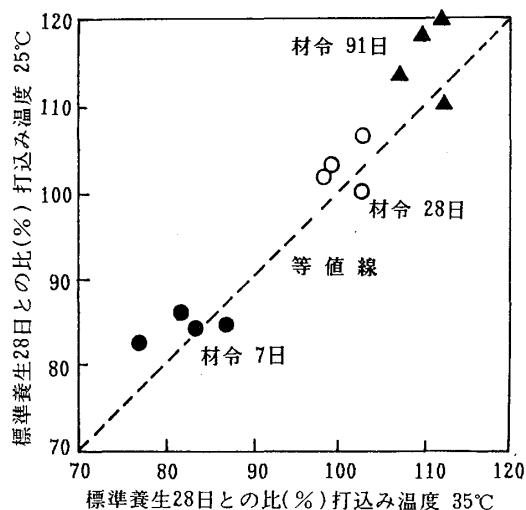


Fig.4 Temperature impact on concrete strength

をFig.4に示したが、概して35℃の強度が低い。このようなことから、打込み温度やその後の温度履歴における温度が高いほど長期材令下の強度増進性は緩まになる傾向がうかがえる。すなわち、筆者の高温履歴条件下の強度発現性状の既往研究で指摘した傾向が、温度20℃～40℃の範囲においても認められる。

この種の現象傾向はセメントの水和進行性に関係しているものと考えられる。つまり初期高温が水和反応を促進させ水和生成物を粗大化し、以降の水和反応を阻害したものとイえる。このことは、Fig.5に示した全細孔容積と圧縮強度との間に高い相関が認められることから裏付けられる。

4. 2 強度発現に及ぼす水分蒸発の影響

温度履歴および水分蒸発の開始時間を変化させた場合の水分蒸発曲線をFig.6に示す。

AE減水剤の標準型および遅延型にかかわらず、温度履歴の相違では、高温ほど水分蒸発速度が速く、水分量も大きい。そして、同一温度履歴条件下においては打込み後2～3時間までの時期内から水分蒸発を開始したも

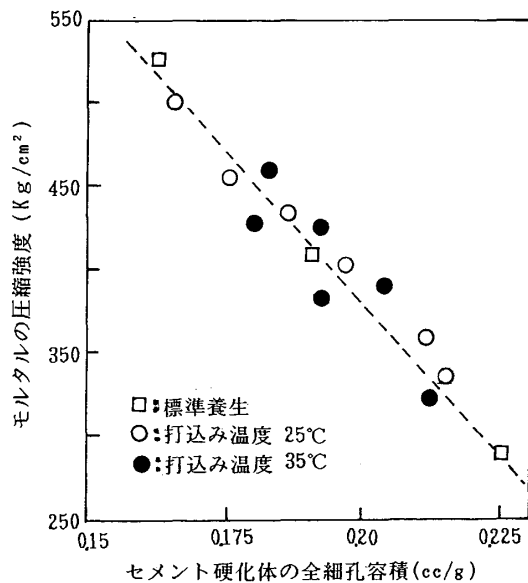


Fig.5 Typical relation between strength and porosity construction of cementing paste

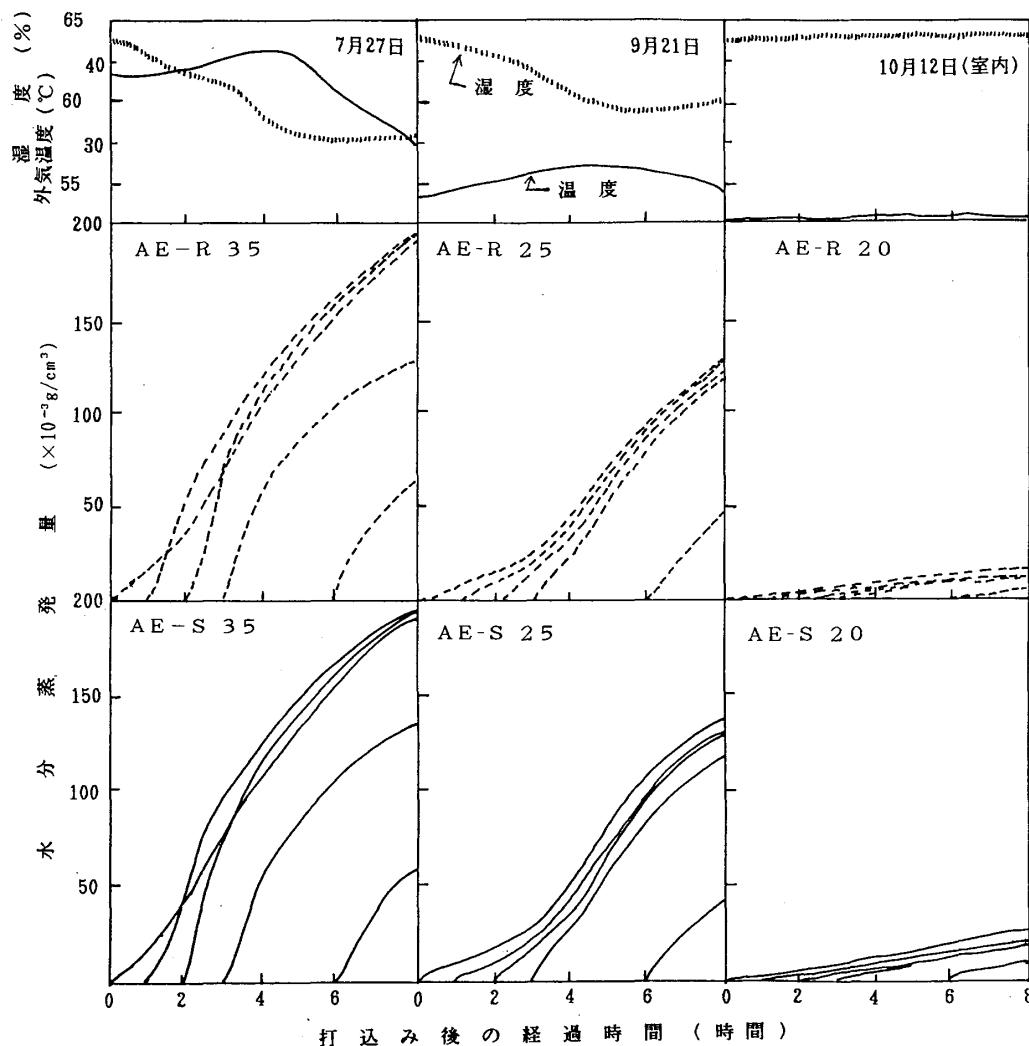


Fig.6 The changes of evaporation of surface moisture from concrete mortars in various ambient temperatures

のは、それ以降に水分蒸発を開始したものに比べ水分蒸発速度は速く、水分蒸発量も大きい。この傾向は、高温ほど著しい。

次に材令91日時点までの水分蒸発量をFig.7に示す。条件によっては、例えば気温25℃以上で、打込み後直ちに水分蒸発を許すような場合にはコンクリート表層部の水分のほとんどが、打込み後の初期に蒸発してしまうこともうかがえる。すなわち、高温環境下で施工する場合、打込み後の養生が不適切であると、コンクリート表面からの水分蒸発が著しくなり、セメントの水和反応の進行に悪影響を及ぼすことも推測される。

そこで、このような水分蒸発が生じた場合の強度発現性を求めた実験結果をFig.8に示す。この図は、各温度履歴下における密封養生28日強度を基準とした場合の、打込み後の水分蒸発開始時間別強度発現状況を示している。

水分蒸発したものの強度発現は、密封養生のそれに比べ緩慢である。その傾向は高温履歴のものほど著しい。セメントの水和の進行に必要な水分が不足して強度増進性が低下したものと見える。

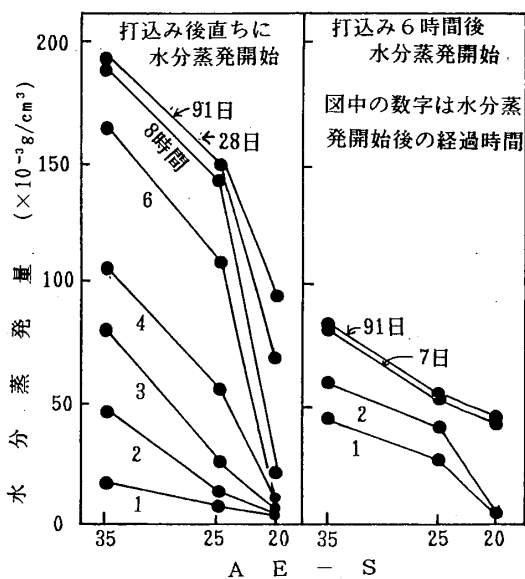


Fig.7 Effect of time and temperature on the rate of evaporation of surface moisture from concrete mortars

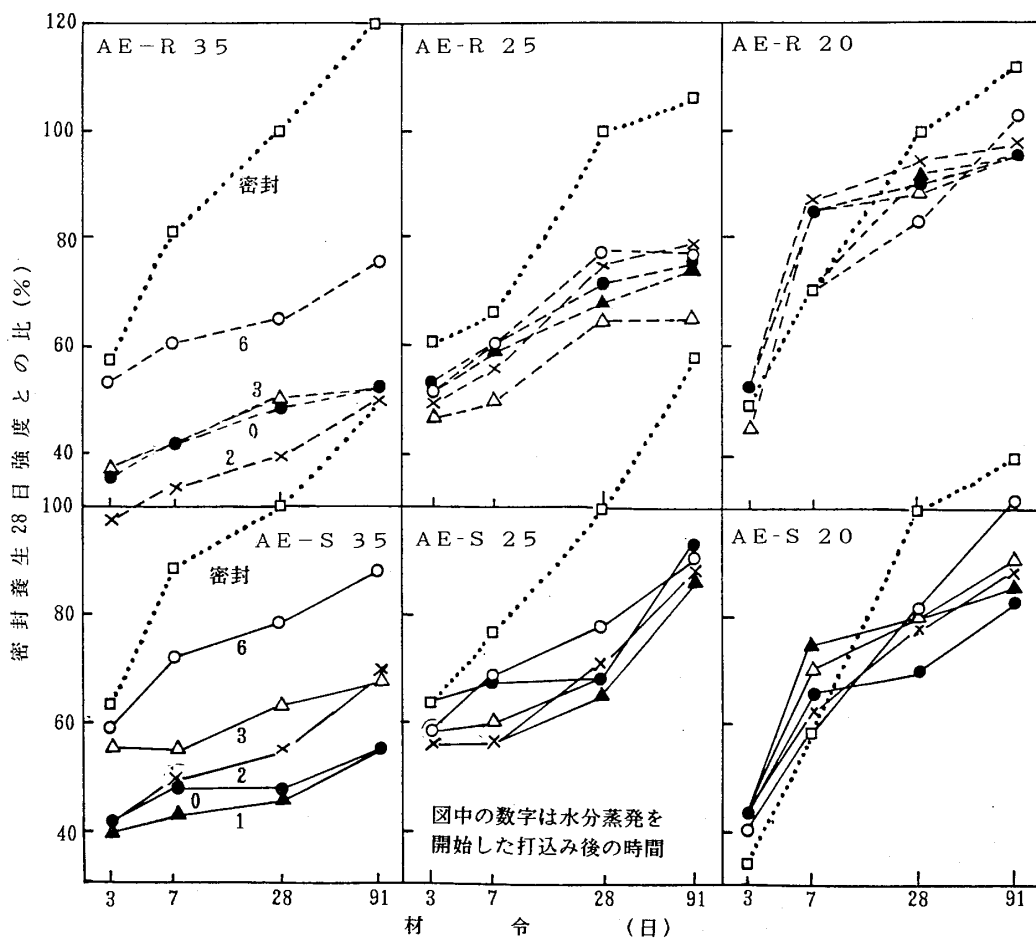


Fig.8 Typical variation in age/strength relationship at different ambient temperatures

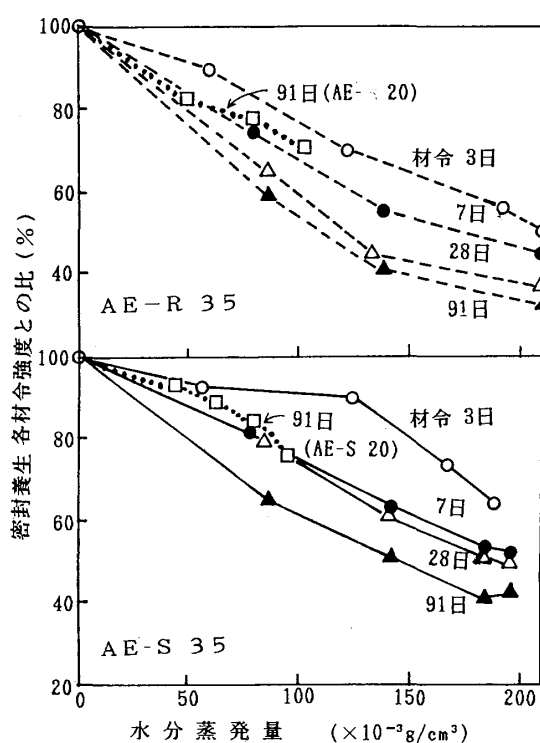


Fig.9 Typical relation between strength and rate of evaporation for different ages

次いで、強度増進性の低下を水分蒸発量との関係で整理した結果を Fig.9 に示す。

水分蒸発量の大きいものほど強度低下の割合（密封養生強度を基準とする比）は大きい。そして、その低下割合は材令が進行するほど著しい。なお、図中に材令91日、20℃の場合の結果についても記した（図中記号、AE-S 20およびAE-R 20）が、高温履歴の場合の水分蒸発量と同等の場合でも、強度の低下割合との間には相違がみられる。これは、水分蒸発の経過の相違に関わるものと考えられる。つまり高温履歴のものは打込み後初期に水分蒸発が行われることにより、水和進行の阻害が早期に生じるためといえる。

以上のことから、暑中環境下の特に打込み後数時間内の水分強度発現に大きな影響を及ぼすことがわかる。すなわち、セメントの水和反応の進行は液相を介してイオンが移動することにより成立することから、施工に際しては、コンクリート表面を密封するなどして、水分蒸発を極力減らすことが重要であろう。

5. むすび

コンクリートの強度発現は、セメントの水和反応に依存することから温度および水分は主要因の一つである。本研究では、気温が高い時期に製造・施工されるコンクリート、特にコンクリート表層部に着目して、その強度発現に及ぼす温度と水分蒸発の影響について実験検討し

た結果、次のようなことが明らかとなった。

- 1) 密封養生下では、打込み後初期の温度が高いほど、長期材令下の強度増進性は小さくなる。
- 2) 密封養生下で打込み後の温度履歴が等しい場合の長期強度には、打込み温度の影響が認められる。
- 3) 打込み温度および打込み後初期の温度が高いほど、水分蒸発量は大きくなる。
- 4) 打込み後初期の水分蒸発量が大きいものほど、強度増進性は小さくなる。
- 5) 上記3), 4)の傾向には、AE減水剤の標準型と遅延型との間に相違は認められない。

以上要するに、高温下で練混ぜ・打設・養生されるコンクリートは、通常で造られたコンクリートに比べ一般に高い初期強度が得られるが、材令28日以降ではその強度は低くなる。特に温度が高い場合、水湿養生等が不十分であるとセメントの水和反応の進行が妨げられ強度発現が低下する。

本研究は平成2年度、文部省科学研究費補助金（一般研究C）によって行ったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高野：打込み温度がマッサコンクリートの強度に及ぼす影響の研究、土木学会論文集第26号、pp.1-40, 1955.
- 2) 土岐：暑中コンクリートの強度上の特質とセメントの問題点、コンクリート・ジャーナル、vol.4, No. 6, pp.31-39, 1966.
- 3) ACI Committee 305: Hot weather Concreting, ACI Journal, pp.317-332, 1977.8.
- 4) 地濃：コンクリートの凝結硬化および強度発現性状におよぼす温度履歴条件の影響、東京工業大学学位論文、pp.1-371, 1983.7.
- 5) Willian C. Moore: Hot Weather Concreting: Tips for Builders, ACI Journal, pp.63-64, 1987.5.
- 6) Bryant Mather: The Warmer the Concrete the Faster the Cement Hydrates, ACI Journal, pp.29-33, 1987.8.
- 7) 松藤・大久保他：暑中環境下で練り混ぜて運搬されるフレッシュコンクリートのワーカビリティに関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、No.10-2, pp.813-818, 1988.
- 8) 日本建築学会材料施工委員会：暑中環境におけるコンクリート工事の諸問題と対策、1989年度大会材料施工部門研究協議会参考資料、pp.1-38, 1989.10.