

論文

[1092] 養生方法が暑中環境下で打設されるコンクリートの品質に及ぼす影響

小山 智幸*³ 松藤 泰典*¹ 大久保孝昭*² 山本トモ・ファウジ*⁴

1. 序

暑中環境下で打設されるコンクリートは、他の時期に打設されるコンクリートと比較すると、打設時および養生中の温度が高いことによって、長期材令時における強度増進の低下および表層部の劣化による耐久性の低下等種々の品質低下を生じる。

筆者等はこれまで暑中環境下で打設されるコンクリートの物性に関して実験・解析両面から検討を行い、主として表層部から散逸する水分量および断面内の温度分布について、以下のような知見を得ている [1] ~ [4]。

①暑中環境下では打設後初期におけるコンクリート表層部からの水分の散逸が他の時期と比較すると非常に大きい。このため、表層部では水和反応の停滞によりポーラスな組織が生成されやすく、また急激な乾燥による収縮のため微細なクラックが生じやすい。

②暑中環境下では外気温度が高いため水和反応が活発になり、コンクリート内部の温度が上昇する。これに対し表層部では、上記の水分散逸による気化熱のために温度が低下する。このため表層部と内部との温度差が大きくなり、表層部に熱応力によるひび割れが生じやすい傾向にある。

従って暑中環境下で打設されるコンクリートの表層部性状を改善するためには表層部からの脱水を抑制する必要があり、特に若材令時における養生が重要となる。この点に関して JASS5等の規準においては表層部の劣化や長期強度の低下を防止するため、保水養生・給水養生等の湿潤養生を行うことを求めているが、その開始時期や各種の養生による効果等については具体的に明記されていない。特に養生開始時期に関しては、打設直後から給水養生を開始するべきだとする規準がある一方で、脱水直後からの給水は水セメント比を見かけ大きくするため有害であるとし、むしろ打設直後の脱水を容認する意見もあり [5]、各規準、研究者により見解が混乱しているのが現状である。

本研究ではこれらの点を考慮し、モデル暑中環境下において打設直後における養生方法および養生開始時期が長期強度や表面性状の改善に及ぼす効果について検討した。なお本研究では外気に曝される面積が大きいため表層部の劣化が生じやすい床スラブを対象とした。

2. 実験概要

実験は養生開始時期がコンクリート強度・表面性状に及ぼす影響を明かにするための実験Ⅰと、養生方法の影響を検討するための実験Ⅱに分けて行っている。なお両実験においては、養生条件がコンクリート中のモルタル部分の性状に及ぼす影響に主眼をおき、モルタル試験体を用いて実験を行っている。コンクリートについては今後更に検討を行う予定である。

実験Ⅰでは、試験体打設直後および打設2, 3, 4, 6, 12時間後からシート養生を開始し、

- *1 九州大学教授 工学部建築学科, 工博(正会員)
- *2 九州大学助教授 工学部建築学科, 工博(正会員)
- *3 九州大学助手 工学部建築学科, 工修(正会員)
- *4 九州大学大学院 工学研究科建築学専攻, (正会員)

養生開始時期が表面性状および強度性状に及ぼす影響の比較を行った。強度試験では 10φx20cmの円柱供試体を打設して所定の養生を行った後、材令4週における圧縮強度を測定した。また表層部の劣化度を簡便に比較するため、試験体表面からの水分の浸透速度を測定した。同試験では幅10cm×長さ40cm、厚さ10cmの試験体を打設し、強度試験体と同様の養生を行った後、図-1に示すように長さ方向に約4cm間隔で切断して打設面と底部を除く面に防水処理を施し、試験体表層部から水に浸透させた際の水分の浸透深さを浸水開始後0.5、1、2、4時間後に測定した。なお同試験は材令4週（一部の試験体では材令3日および1、2、4週）で行った。

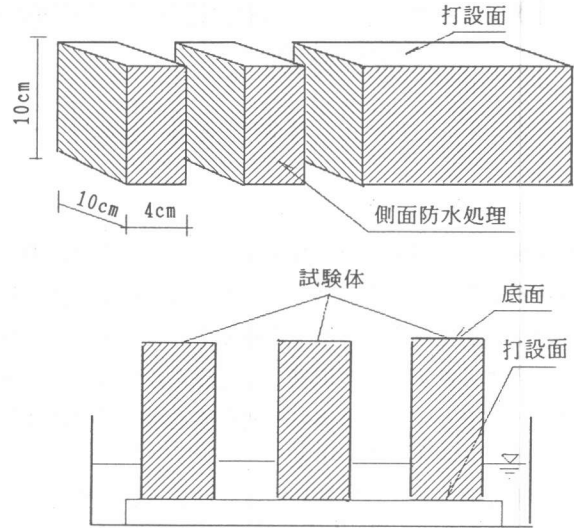


図-1 試験体表層部からの水分浸透試験方法

表-1 使用材料

材 料	種 類	比 重	吸水率 (%)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15	-
細骨材	海 砂	2.57 (表乾)	1.80

表-2 モルタルの調合

材 料	水	セメント	細骨材
単位重量 (kg/m ³)	289	579	1331

実験IIでは、養生方法が強度性状に及ぼす影響を検討するために保水養生としてシート養生、給水養生として濡れむしろを用いた養生、散水養生および水張り養生を行い、材令4週における圧縮強度

の測定を行った。給水養生で使用した養生水は水温が外気温と等しいものを使用し、散水養生では散水を1時間おきに行い、水張り、濡れむしろによる養生では水分を適宜補給して常に湿潤状態を保った。両実験で使用したモルタル試験体の使用材料を表-1に、調合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材には海砂を用い、水セメント比は50%、打設温度は外気温と同じ35℃とした。なお各材料温度は所定の打設温度を実現するためにあらかじめ温度を調節した。また、両実験で検討を行った養生開始時期および養生方法の詳細については実験結果と共に表-3および表-4に示す。外気環境は外気温35℃、外気湿度50%R.h.一定とした。実験I、IIともに試験体は打設後48時間まで所定の養生を行い、以後材令4週まで試験体により35℃気中養生、35℃封緘養生および20℃水中養生を行った。なお、いずれの試験体も前述のように床スラブを想定して、上面は外気と直接接し、底面は型枠を介して外気と接する状態とした。また、型枠側面には断熱材を配置し、試験体側面と外気との間で熱の移動が生じないようにした。

3. 実験結果および考察

3.1 実験I (養生開始時期の影響)

(1) セメントの水和発熱速度曲線

実験で使用したセメントの水和発熱速度曲線を図-2に示す。試料には実験で使用したモルタルと同調合のモルタルを用い、微小熱量計により測定した。実験IおよびIIで設定した外気温35°Cの場合、水和反応は打設後2時間頃から加速期に入り、打設後7時間前後にピークに達する。実際の試験体では水和発熱により内部の温度が上昇するため、水和発熱速度のピークは図-2の場合よりも若干早くなると考えられる。

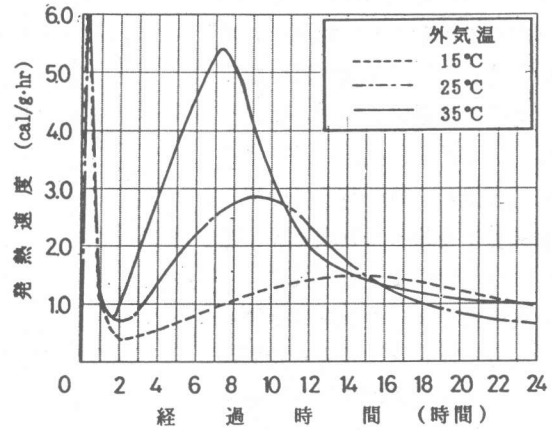


図-2 セメントの水和発熱速度曲線

(2) 試験体表層部からの脱水速度

図-3(a)に厚さ10cmの試験体表層部からの脱水速度の経時変化を示す[4]。脱水速度は打設直後から増大し、外気温35°C、湿度50%の場合、打設後約5時間頃に最大値 0.035g/cm²·hourを示した後、経過時間に従って低下している。図-3(b)に試験体表層部からの脱水量の累計を示す。試験体1cm²当りの水量は約3gであるが、養生を行わなければ、外気湿度50%の場合、練り混ぜ水のうち10%程度が打設後12時間で脱水する。以後の脱水量は小さい。なお、表面のブリージング水は打設後2~3時間程度で乾燥した。

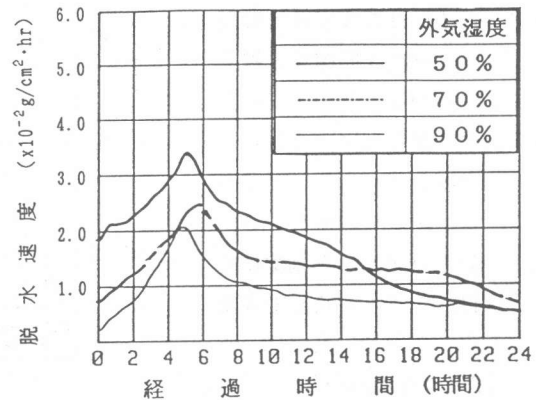


図-3(a) 脱水速度の経時変化

(3) 表層部からの水分の浸透深さ

試験体表層部からの水分の浸透深さの材令による変化を図-4に示す。水分浸水深さの相違は試験体表層部の劣化度および劣化深さの違いを表していると考えられ、浸透深さの大きい試験体ほど耐久性が低下していると判断できる。同図は打設直後からシート養生を開始し、材令2日以降は封緘養生とした試験体④および打設後2日まで養生を行わずその後封緘養生とした試験体②について浸水開始4時間後の値を示している。同図に示すようにいずれの試験体も材令3日における浸透深さが若干大きく以後わずかに低下する傾向を示すが、材令7日以降では浸透深さは殆ど変化していない。

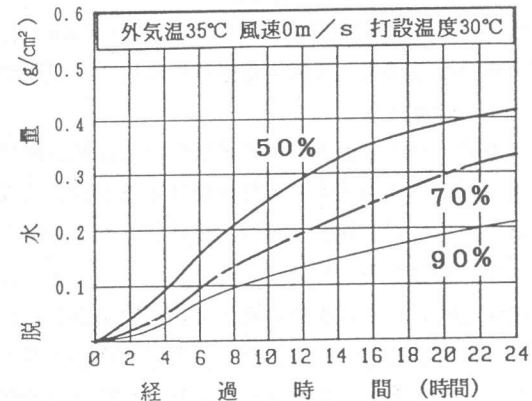


図-3(b) 脱水量の経時変化

また両者の差は材令3日から大きく、打設後初期における養生が重要であることがわかる。材令4週における試験体表面からの水分の浸透深さの測定結果を図-5に示す。同図に示すように打設後48時間から気中養生、封緘養生を行った試験体①、②および打設後12時間後にシート養生を開始した試験体⑨は打設後0、2、3、4、6時間後にシート養生を開始した試験体④~⑧に比べ、浸透速度がかなり大きいことがわかる。従って本実験の場合、表層部の水密性を保つためには打設後6時間以前にシート養生を開始すればよいことがわかる。このように打設後初期の養生は表面性状に、多大な影響を与えることが明かとなった。また打設後2~6時間後に養生を開始した試験体⑤~⑧は打設後養生開始まで表層部から水分が散逸した(図-3(a)参照)にもかかわらず、打設直後から養生を行った試験体④との浸透深さの差がほとんど見られない。このことは打設直後数時間における表層部からの水分散逸は表層部の性状に悪影響を及ぼさないことを示しており、打設直後から養生を開始する必要はないことが明かとなった。

(4) 強度性状

養生開始時期の相違による試験体の強度試験結果を表-3に示す。打設後48時間まで養生を行わず、脱型後気中養生とした試験体①および、打設後48時間より封緘養生とした試験体②は、打設直後からシート養生を行った試験体③および④と比較すると、表層部からの水分の散逸の影響により、強度が著しく低く、また先に示したように水分浸透速度も大きい。また試験体①、②は打設後48時間~4週までの養生の相違があるにもかかわらず強度および水分浸透速度の差があまり見られないことは、コンクリートが硬化した後での養生は強度および表面性状に及ぼす影響が小さいこと、即ちコンクリートの物性には打設後初期の養生の影響が大きいことを示しており、先に示した表面性状の実験結果と同様の結果が得られた。

試験体⑤~⑨はシート養生開始時期を打設後それぞれ2、3、4、6、12時間後とし、その

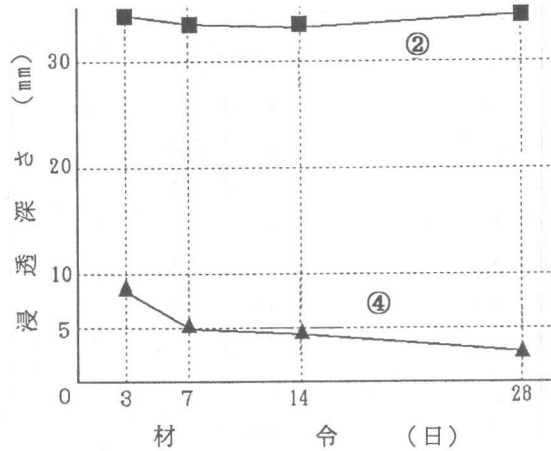


図-4 水分浸透深さの材令による変化

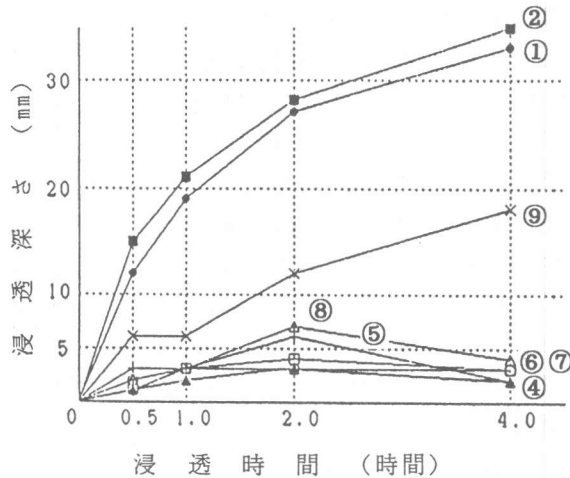


図-5 水分浸透深さの経時変化

後封緘養生とした試験体である。これらを比較すると水和反応がピークとなる以前にシート養生を開始した試験体⑤～⑦では強度が高くなっているのに対して、水和反応がほぼピークとなる打設後6時間以降に養生を開始した試験体⑧、⑨は強度がかなり低く、養生を行わなかった試験体①、②に近い値となっている。また、打設後3、4時間後に養生を開始した試験体⑥、⑦は打設直後から養生を行った試験体④よりも強度が若干高くなる傾向を示している。このことから、打設直後の脱水が試験体の性状に悪影響を及ぼさないことが明かとなった。

以上のことより保水養生の開始時期はコンクリートの物性に大きな影響を与え、その時期はセメントの水和反応過程を考慮して定める必要がある。本実験の範囲ではシート養生開始時期は打設後3～4時間頃が適切であると求められた。

表-3 試験体強度の測定結果（養生開始時期の影響）

	養生方法								圧縮強度 (kgf/cm ²)		
	0	2	3	4	6	12	24	48時間	4週	200	300
①	(養生なし) (35℃気中)								297		
②	(養生なし) (35℃封緘)								322		
③	(シート養生) (20℃水中)								377		
④	(35℃封緘)								386		
⑤									365		
⑥									396		
⑦									406		
⑧									338		
⑨									333		

表-4 試験体強度の測定結果（養生方法の影響）

	養生方法					圧縮強度 (kgf/cm ²)		
	0	4	24	48時間	4週	300	400	500
⑦	(養生なし)	(シート養生)	(35℃封緘)			406		
⑩	(濡れむしろによる養生)					454		
⑪	(散水養生)					466		
⑫	(水張り養生)					488		
④	(シート養生)	(シート養生)				386		
⑬	(濡れむしろによる養生)					438		
⑭	(散水養生)					431		
⑮	(水張り養生)					488		

3.2 実験Ⅱ（養生方法の検討）

養生方法の相違による試験体の強度試験結果を表-4に示す。試験体⑩～⑫は打設後4時間から48時間まで、それぞれ濡れむしろによる養生、散水養生および水張り養生を施し、試験体⑬～⑮は打設後4時間までシート養生を行った後、それぞれ試験体⑩～⑫と同じ養生を施して以後材令4週まで封緘養生を行った試験体である。

試験体⑦と試験体⑩～⑫を比較すると保水養生であるシート養生を行った試験体⑦よりも、給水養生である濡れむしろによる養生、散水養生および水張り養生を行った試験体⑩～⑫の方が高い強度を示すことがわかる。また試験体⑬～⑮より、試験体⑩～⑫が強度が高い傾向にあり、保水養生においても打設直後の脱水は強度性状に悪影響を及ぼさないことが示された。以上の様に暑中環境下で打設されるコンクリートは保水養生、給水養生等の養生を適切な時期に行う必要があること、特に給水養生が効果が大きいこと、また必ずしも打設直後に養生を開始する必要はなく、打設4時間程度から開始してよい等の結果が得られた。

4. 結論

本研究では暑中環境下で打設されるコンクリートに関して、養生開始時期および養生方法の相違が強度性状および表面性状に及ぼす影響を検討した。得られた結果を以下に示す。

①暑中環境下で打設されるコンクリートの表層部劣化および長期強度低下を改善するためには保水養生または給水養生を適切な時期に行う必要がある。

②養生開始時期は水和反応過程を考慮して定める必要があり、水和反応が加速期に入る前後に開始する必要があることが明かとなった。また水和反応がピークとなる時期以降に養生を開始しても強度・表面性状の改善効果は殆ど見られない。

③打設直後における表層部からの脱水は表層部の性状に悪影響を及ぼさず、また圧縮強度はむしろ大きくなる傾向がある。従って少なくとも打設直後から養生を開始する必要はなく、本実験の条件下では打設後約4時間前後から養生を開始すればよいことが明かとなった。

<謝辞> 本研究の遂行にあたり文部技官津賀山健次氏、本学大学院生古谷享、山野義則両君の協力を得た。末尾ながらここに謝意を表す。

<参考文献>

- 1) Y.Matsufuji et al. : An Experimental Study on Temperature Distribution Inside Mortar Specimens Placed in High Temperature Ambience , 日本建築学会構造系論文報告集, No.422, 1991.4, p.1
- 2) Y.Matsufuji et al. : Experimental Study of the Effect of Ambient Conditions on Temperatures inside Mortar Specimens , Concrete in Hot Climates ,Proceeding of the 3rd International RILEM Conference ,Sep. 1992, p.33
- 3) 松藤他：暑中環境下で打設されるモルタル試験体内部の温度解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，1991.9，p.581
- 4) 松藤他：暑中環境下で打設されるモルタル試験体の初期材令における脱水量の経時変化，日本建築学会九州支部研究報告，第33号，1992.3，p.21
- 5) 森永：暑中コンクリートの養生方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和63年10月，p.207