

PART1 設計・施工と水

養生と水分

表層品質に及ぼす養生の効果と各種養生技術

伊代田 岳史 勝木 太

1. はじめに

養生とは「コンクリートの強度、耐久性、ひび割れ抵抗性、水密性、鋼材を保護する性能などの所要の品質を確保するため、打込み後の一定期間を硬化に必要な温度および湿度に保ち、有害な作用の影響を受けないように保護する作業」とコンクリート標準示方書¹⁾で定義されている。つまり養生には、①水分を与える(給水)、②水分逸散を防ぐ(保水)、③温度制御すること、④有害作用からの保護、が望まれている。

このようにまだ固まらないコンクリートの硬化過程では水分が重要であり、水分のいかんによっては所要の品質をもつコンクリートが得られない恐れがある。本稿では、この養生と水分について、なぜ水分が必要なのか、水分不足に陥ることで生じることについて筆者らの実験結果をもとに解説するとともに、近年積極的に開発が進められている保水・給水養生方法のいくつかを取り上げ概説することとする。

CURING ~ESSENTIAL MOISTURE~(by Takeshi IYODA, et al.)



いよだ たけし
芝浦工業大学工学部 土木工学科 准教授 博士(工学)



かつき ふとし
芝浦工業大学工学部 土木工学科 教授 工博

2. 養生と水分

～なぜ養生に水分が必要なのか？

2-1. 湿潤養生期間

コンクリート標準示方書¹⁾ならびにJASS5には、表1に示すようにセメントの種類と日平均気温あるいは構造物の設計耐用年数に応じて、湿潤養生期間が定められている。この期間には、コンクリートを湿潤状態に保つことが規定されている。そもそもこの湿潤養生期間の設定は、コンクリート標準示方書では、コンクリートが初期凍害を受けなくなるとみなされる圧縮強度(初期凍害を防ぐための圧縮強度の標準)を得るまでは凍結させないために、養生を施すことを考慮して設定されている。一方、JASS5では、所要の圧縮強度が確認できれば湿潤養生を打

表1 湿潤養生期間の標準比較

土木学会 コンクリート標準示方書(2012年度版)

日平均気温	普通ポルトランドセメント	混合セメントB種	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	5日

日本建築学会 JASS5(2009)

	短期および標準	長期および超長期
早強ポルトランドセメント	3日以上	5日以上
普通ポルトランドセメント	5日以上	7日以上
M, L, BB, FB	7日以上	10日以上

型枠および支保工の取り外しに必要な圧縮強度が早期に得られた場合でも養生期間内は湿潤状態を保つ必要がある。

表2 示方書における養生の記述の変遷

制定年	解説への記載(気になること)
S15(1940)	養生作業の中で、硬化中に十分湿気を与えることが最も大切
S24(1949)	水和の観点から、理想は少なくとも6か月間湿潤状態に保つ必要
S49(1974)	水和作用の観点から湿潤養生期間は長い方が良いが、長期間の養生は不経済。…湿潤養生の効果は初期の養生期に得られ、長期の養生は、利益少ない。
S61(1986)	強度増進のためには、できるだけ長い方が良いが、初期の硬化増進が著しく、長期の養生は不経済である
H3(1991)	強度、耐久性、水密性等の品質を高めるために、長い方がよい。…湿潤養生の効果の大部分は初期の養生期に限られる。
H8(1996)	「型枠で保護されていないすべてのコンクリート面に対して…」

長期の養生 水和の観点では必要 ↓ 経済的に不必要	養生 強度増進 ↓ 耐久性や品質	養生の必要な場所 型枠のないコンクリート面 ↓ 型枠面も(早期脱型, 各種養生法)
------------------------------------	---------------------------	--

ち切ることができる」とされている。いずれも、初期の強度を確保することが構造物を施工する上で非常に重要となることから、湿潤養生期間が定められている。そもそも、コンクリートの圧縮強度の発現は、セメント種類と周囲温度により大きく左右されることを考慮すると、初期強度で養生期間を判断することは合理的であるとも考えられる。

コンクリート標準示方書の過去¹⁾を紐解くと、表2に示すように「養生」の記述は過去から存在しており、当初は硬化中に十分湿気を与えることが重要であるとされていた。その理由は、セメントの水和の観点であるとの記述が昭和24(1949)年の示方書には存在し、理想的には少なくとも6か月間湿潤状態に保つ必要性が述べられている。一方、昭和49(1974)年改訂の示方書には、養生の重要性は記述されているものの、長期間の養生は不経済であり、長期の養生での利益が少ないとの記載が存在している。これは、コンクリートの圧縮強度に着目すると初期の養生期には、養生に応じて強度発現するが、長期では強度発現性が鈍るからと考えられている。さらに、性能照査を意識した平成3(1991)年改訂の示方書からは、耐久性や水密性等の品質を高めるためには初期の養生が重要であるとの記載が追加されている。さらにこれまでの示方書では、養生が必要な箇所は型枠で保護されていないすべてのコンクリート面を対象としていたが、平成8(1996)年改訂より、近年

の早期脱型の影響や後に説明を加えるような各種新規養生方法が提案されたことから、型枠面でも養生の必要性が検討されてきている。

2-2. 養生不足による不具合とは

養生が不足することで、硬化不良や初期強度不足などに加え、寒冷地でのコンクリート表面の初期凍害、温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れ、微細な表面ひび割れやドライアウト、表面剥離、色むらなどの不具合が生じることが懸念される。

また、コンクリート構造物の表層部(特にかぶり)の品質低下への影響も懸念される。

2-3. 不具合発生の原因(養生不足と水和反応・空隙構造)

養生不足により、若材齢のコンクリートでは、表面からの乾燥により内部の水分が逸散し、セメントの水和反応が十分に行われなくなる恐れが生じる。そこで20×20×80mmのセメントペースト試験体を、24時間後に脱型して20℃の水中ならびに乾燥(RH50%)環境で養生し、水和反応を計測した。測定には試験体から10mm程度の試料を採取して強熱減量による結合水量を算出し水和反応の挙動とした。図1は、普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比の異なるセメントペーストを水中養生し

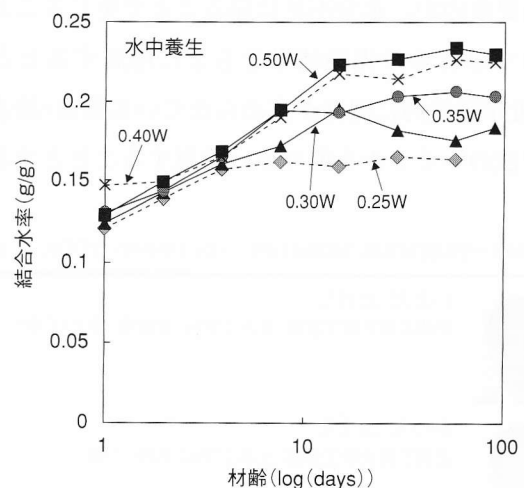


図1 水中養生下での水和挙動(W/C違い)

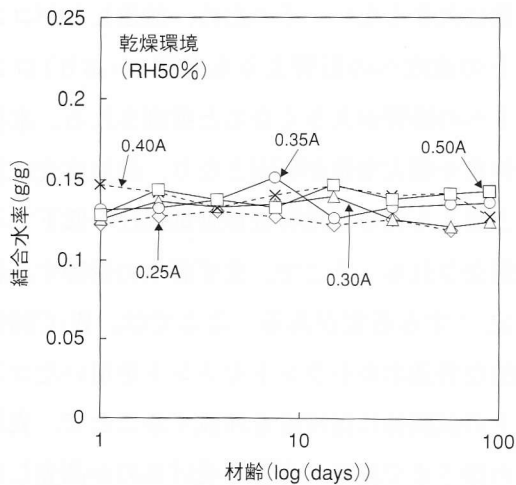


図2 乾燥環境下での水和挙動(W/C違い)

たときの水和反応の挙動²⁾を示したものである。水中養生した場合、水分が潤沢に存在することから水和反応は継続する。相対的に水セメント比が高い0.40や0.50では長期にわたり水和反応が継続し、収束を迎えていることが見られる。一方、水セメント比が低い0.25や0.30では、早い段階で水和が停滞していることが分かる。これは、水和反応に必要な水分がもともと不足していることから、生じるものであり、また水和により緻密な構造を形成することから外部からの水分供給があっても内部まで水分が浸透していないことを示している。

一方、図2は同様のセメントペーストを脱枠直後からRH50%の環境で乾燥させた結合水率の結果²⁾を示している。こちらでは水セメント比によらず、ほぼ同程度の結合水率で水和が停滞していることが分かる。このように乾燥環境では内部の水分が逸散してしまい、水和が進行しないことがわかる。加えて、水中養生の結果と見比べると、水セメント比が小さい場合には、長期における結合水率には大きな差がないことに対し、水セメント比が高い場合には、大きな差が認められる。このことは高い水セメント比であれば、養生を怠った場合の水和に与える影響が著しく大きいといえる。一方で水セメント比が小さい場合には、養生の影響は大きくないのではないかと考えられる。このように水和が進行しなくなった場合には、空隙構造を緻密化することも困難となる。図3は、養生を違えた試験体の空隙構造の経時変化³⁾

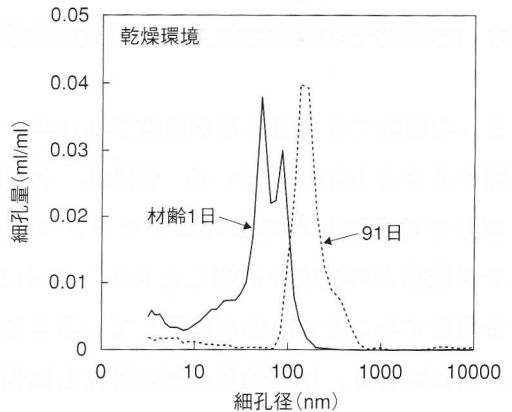
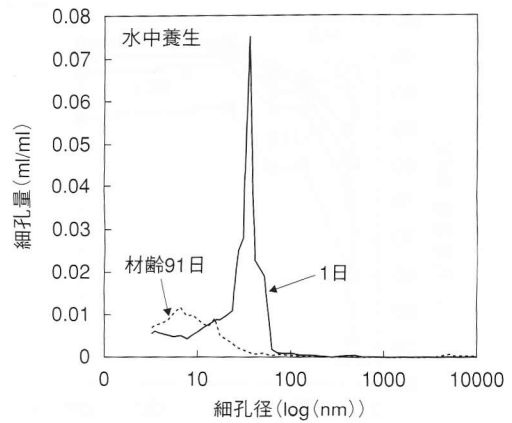


図3 養生方法の異なる空隙構造形成の相違

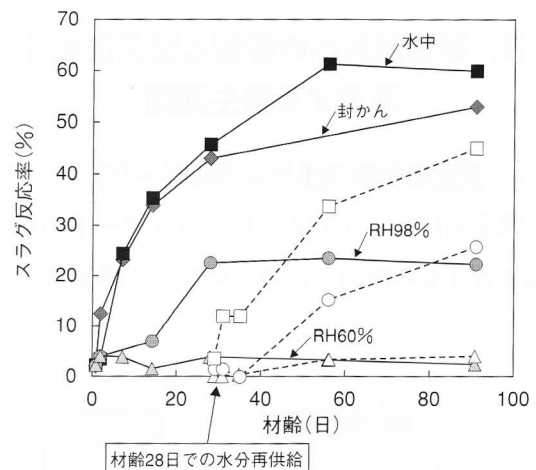


図4 水分再供給によるスラグ反応率の挙動

*破線の3本は材齢28日においてRH60%から水中、RH98%、RH80%環境に移動させ水分供給したものの

を示している。水中養生では、材齢とともに空隙が緻密化していることがわかる。一方で、乾燥した場合には、粗大な空隙を残存したまま水和反応が停止してしまっている。強度や耐久性に影響が大きいといわれる空隙は100nm以上であることを考えると、強度不足や耐久性への影響が心配される。

しかしながら、一度乾燥をして水和反応が停止し

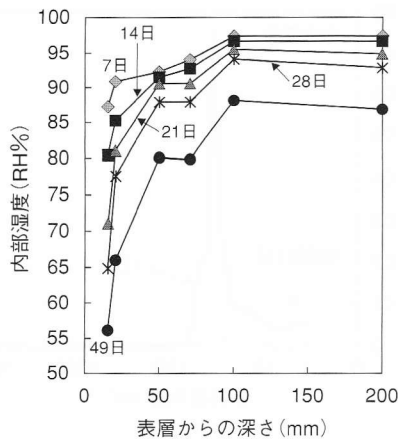


図5 乾燥面からの距離に応じた内部湿度測定結果

てしまった場合でも再度水分が供給されれば、水和が再開することも知られている。図4は、水和停止後、水分を再供給した場合の高炉セメント中の高炉スラグ微粉末の反応を計測したものの^{4, 5)}であるが、水分を供給することで反応が再開していることが分かる。これにより、圧縮強度などの特性も回復することが知られているが、初期材齢において養生が不足した場合には完全に回復するものではない。

3. 表層品質への影響と要求性能を満足する養生期間

3-1. 養生の影響範囲と表層品質への影響

湿潤養生はあくまでも表層コンクリートの保水・給水を行うものであり、コンクリート構造物全体へ

の効果は大きくない。そのため、前述したがコンクリートの強度への影響よりも表層(かぶり)コンクリートへの影響が大きくなると推測される。水和反応の停止や粗大空隙が原因となり、鉄筋腐食に影響すると考えられる各種物質移動抵抗性が低下することが懸念される。そこで、まず養生の影響する範囲を特定^{6, 7)}する必要がある。ここでは、W/C55%の一般的な普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの試験体に湿度計を埋設することで、表層からどの深さまで乾燥の影響を受けるのか調査した結果^{8, 9)}を図5に示す。これより、初期段階で表層から20mm程度の深さ位置までは非常に大きく影響を受けており、急激な湿度変化が認められた。なお、時間が経過することで試験体内部まで乾燥が及んでおり、50mm程度までの影響が確認できた。

同様に、連続した粗大空隙の領域を計測するために、養生期間を違えた試験体を用いて吸水試験(真空吸水試験)を行った。この試験は、図6に示すように絶乾状態にした試験体を用いて試験体下面から5mmを浸水させて真空に脱気することで、吸い上げられた水の高さから空隙の量とその連続性を判断する方法である。空隙の量や連続性が高ければ、吸い上げられる水の高さが高くなり、物質移動抵抗性も低くなると想定できる。ここでは、10mm幅ごとに吸い上げられた面積をその全面積で除することで

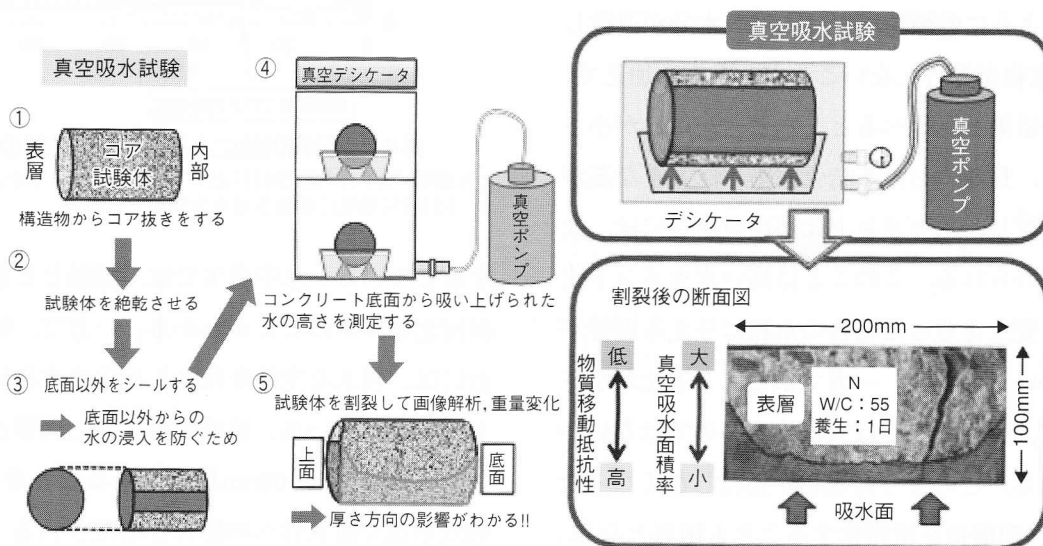


図6 真空吸水試験の概要

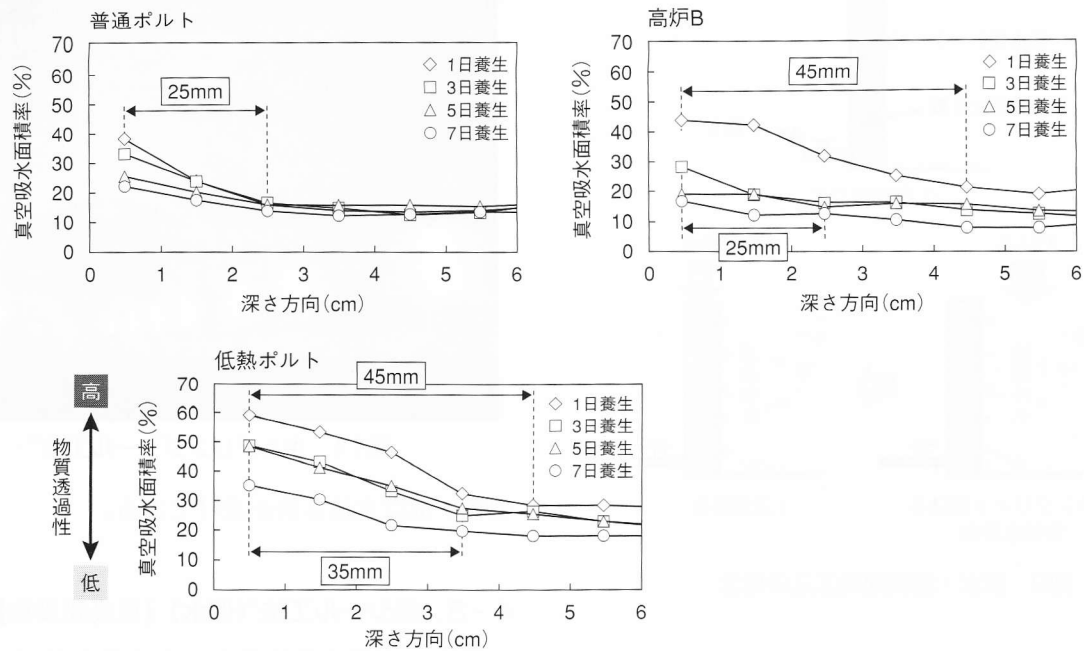


図7 真空吸水試験法による養生時の乾燥の影響範囲の同定

真空吸水面積率を算出し、その結果¹⁰⁾を図7に示す。ここからもわかるとおり、表層より25mm程度までは養生の影響を受けて空隙が粗大化していると推測できる。なお、水和反応の遅延により硬化が遅延することが知られている、混合セメントや低熱ポルトランドセメントでは、養生期間が短いほど、45mm程度とその影響範囲が拡大しており、養生の重要性を見ることができる。

次に養生を施さない、または養生期間を短縮した試験体を用いて促進中性化や塩分浸漬などの劣化環境に暴露した結果¹¹⁻¹³⁾をみると、劣化環境暴露後の初期段階で劣化因子が急激に浸透することから、養生不足により極材齢初期に劣化因子が浸透しやすくなることが考えられる。

3-2. 要求性能を満足する湿潤養生とは

コンクリートの標準的な湿潤養生期間は、表1に示したとおり、セメントの種類と平均気温または構造物の設計耐用期間により定められている。しかしながら、コンクリート自体の水セメント比に代表される配(調)合やさまざまなセメント種類などによりコンクリートの品質は大きく左右される。加えて、構造物の置かれる環境条件も温度のみならず、乾燥

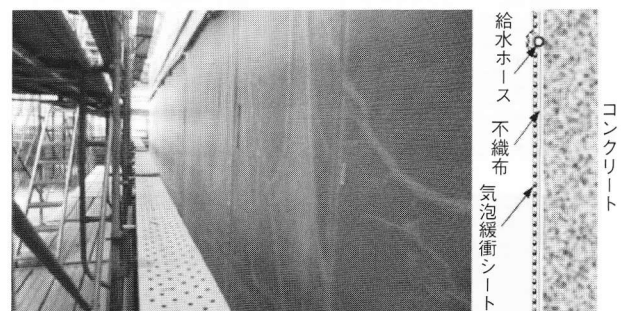


図8 アクアカーテンの概念図¹⁶⁾

条件や養生終了後に曝される環境によっても、要求性能を満足するための養生期間は変動すると考えられる。そこで、今後は養生を把握する直接的なモニタリング手法などの開発^{14, 15)}や要求性能を満足する適切な養生期間の提案¹²⁾などの研究が望まれる。

4. 保水・給水に関わる新規養生方法の提案

近年、保水・給水に関わる新規養生方法や工法の提案が数々なされている。その中からNETIS等に登録されているものを中心にその一部を紹介する。

4-1. アクアカーテン(給水)【榎安藤・ハザマ】¹⁶⁾

アクアカーテンは、図8に示したとおり、型枠を取り外したコンクリート面を給水養生シートで覆い、コンクリート面と養生シートの隙間に養生水を

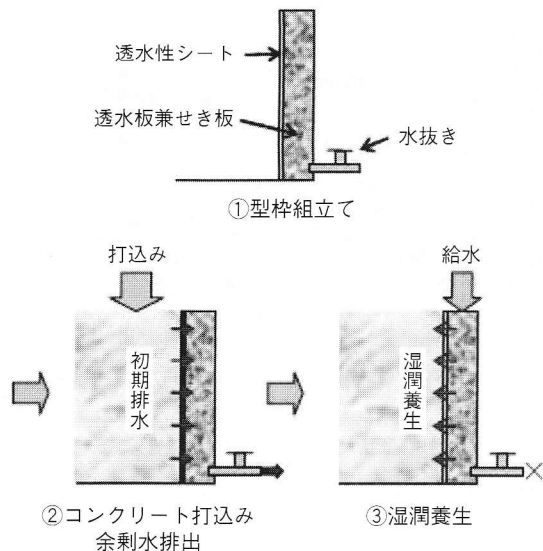


図9 排水・湿潤連続工法の概念¹⁷⁾

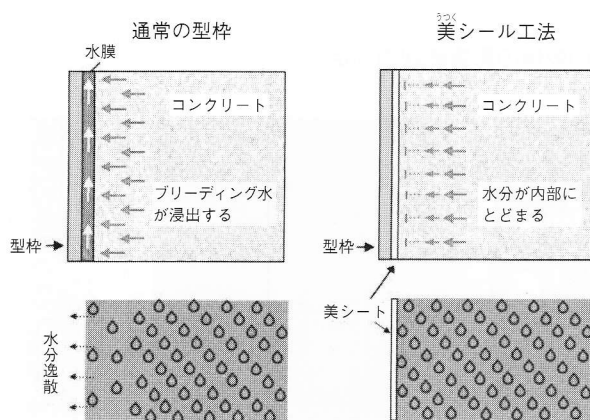


図10 美シールの概念図¹⁸⁾

流下させることで、コンクリート面に水膜を形成する給水養生工法である。脱型後から実施することができ、水中養生のような養生環境を提供することで、コンクリートの強度・耐久性発現を実現しているとしている。

4-2. 排水・湿潤連続工法(脱水・給水)【大成建設株】¹⁷⁾

コンクリート中に存在する余剰水の排出とその後の湿潤養生を両方連続的に行うことができる型枠として考案されている。設置した型枠を脱型せずに、排水と湿潤養生を連続的に行うことにより、表層コンクリートを緻密化することが可能である。型枠は、図9に示すように打設面に対して内側が市販の透水型枠用シート、外側が樹脂製の透水板となっており、

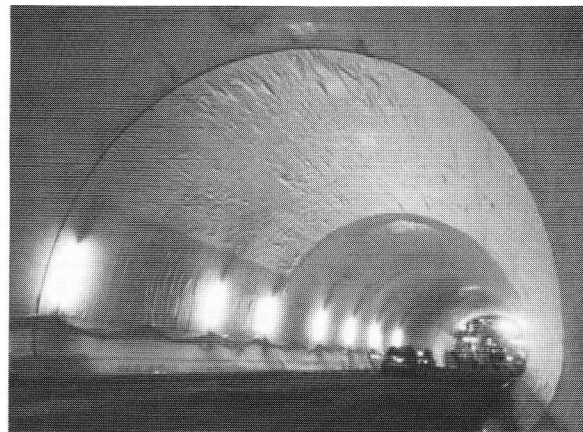


図11 キュアリングシール工法²⁰⁾

型枠下部は水抜き管が設けてある。

4-3. 美シール工法®(保水)【鹿島建設株】¹⁸⁾

型枠に高撥水性特殊シートを貼り付けてコンクリートを打設することで、気泡の少ない鏡面仕上げコンクリート表層を実現できる工法である。コンクリート表層部の緻密化により、劣化因子の浸透を抑制することができる。図10のように厚さ200 μ mの美シートを型枠に貼り付けることで、コンクリート表面側の水分の移動を抑制し、型枠との間に水膜を作ることなく、水分をコンクリート内部にとどめることができる。コンクリート自身が自ら保水養生することで緻密化を実現しているとしている。

4-4. 塗膜養生剤「ニュートラックSK」(保水)【清水建設株】¹⁹⁾

コンクリート表面に高性能被膜養生剤を塗布することで水分蒸発を抑制し、乾燥収縮ひび割れの発生を抑制した。主成分の水分散系ポリエステルがコンクリート表面から浸潤することで、被膜を形成し、従来の養生剤と比較して保湿効果を約4割向上させることで、コンクリート表面を緻密にすることが可能であるとしている。

4-5. キュアリングシール工法(保水)【佐藤工業株】²⁰⁾

図11のように片面に防湿加工、もう片面は粘着剤をコートしたロール上の紙を脱型直後のコンク

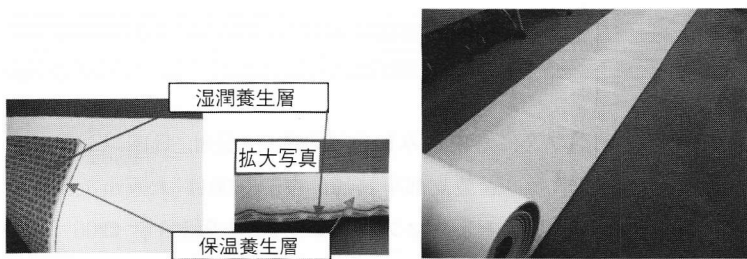


図12 うるおんマット²¹⁾

リート面に貼り付けることで、コンクリート表面からの水分蒸発を防ぐ保水養生工法である。その効果は、封かん養生と同程度であり、強度増進や表面の緻密化、初期の乾燥収縮ひび割れ抑制に加え、防汚効果が付与できるとしている。

4-6. うるおんマット(保水)【戸田建設株】²¹⁾

図12のようにコンクリートの湿潤養生と保温養生を同時に行えるマットとして開発された。厚さ約1mmの不織布に水膨潤ウレタンを点在させた湿潤養生層と厚さ10mmの吸水性のない発泡ウレタン性保温養生層を積層した二重構造養生マットである。緻密な表層面を形成するとともに、保温機能を付与している。

5. まとめ

コンクリートの水分に関する養生について、養生の本質的な意義と考え方、新しい養生方法などを整理してきた。養生はセメントの水和と密接に関係しており、特にかぶりコンクリートの耐久性に大きな影響を与える。コンクリートの種類が異なれば、要求性能を満足するための養生日数や養生方法は変化すると考えられる。そこで、今後は養生状態を直接的にモニタリングできる方法や表層品質を確保するために新たな養生方法の提案などが期待される。

[参考文献]

- 1) 土木学会コンクリート標準示方書施工編, 2012年制定版
- 2) 伊代田岳史, 魚本健人/若材齢における乾燥がセメント硬化体の内部組織構造に及ぼす影響, 土木学会論文集V-59, pp.17~26, 2003
- 3) 伊代田岳史, 魚本健人/若材齢時の水分履歴がセメント硬化体の内部組織構造形成と物理特性に及ぼす影響, コンクリート工学論文集 Vol.15, No.2, pp.25~34, 2004 (Issue 35)

- 4) Takeshi IYODA, Kimihiro INOKUCHI and Taketo UOMOTO/EFFECT ON SLAG HYDRATION OF BLAST-FURNACE SLAG CEMENT IN DIFFERENT CURING CONDITIONS, 13th International congress on the chemistry of cement, SPAIN 2011
- 5) 濱田勝大, 村上 拓, 伊代田岳史/養生湿度の変化が高炉スラグ微粉末の水和反応に及ぼす影響, 第38回土木学会関東支部技術研究発表会, CD-ROM, 2011
- 6) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇/乾燥を受けたコンクリート表層から内部にわたる含水率, 細孔構造の不均一性, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, pp.9~16, 1998
- 7) 岩城圭介, 平間昭信, 加藤淳司, 寺澤正人/コンクリート内部の相対湿度計測による湿潤養生管理の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.211~216, 2008
- 8) 伊代田岳史, 松崎晋一郎, 井ノ口公寛, 歌川紀之/養生とその後の環境による内部湿度の相違が乾燥収縮に与える影響, コンクリート工学年次論文集Vol.32, CD-ROM, pp.111~116, 2010
- 9) 井ノ口公寛, 歌川紀之, 伊代田岳史/コンクリートの表層と内部の湿度の相違が乾燥収縮と耐久性に与える影響, コンクリート工学年次論文集Vol.33, No.1, CD-ROM, pp.563~568, 2011
- 10) 井ノ口公寛, 豊村恵理, 伊代田岳史/高炉コンクリートの養生相違が乾燥の影響範囲に与える影響, 日本コンクリート工学会 混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム, pp.69~74, 2011
- 11) 豊村恵理, 伊代田岳史/養生条件が中性化速度に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集第11巻, pp.401~406, 2011
- 12) 檀 康弘, 伊代田岳史, 大塚勇介, 佐川康貴, 濱田秀則/高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生条件と耐久性の関係, 土木学会論文集E, Vol.65, No.4, pp.431~441, 2009
- 13) 伊代田岳史, 井ノ口公寛/簡易な真空吸水試験を用いた中性化進行予測手法の提案, コンクリート工学年次論文集Vol.34, No.1, CD-ROM, pp.748~753, 2012
- 14) T.Iyoda, E.Toyomura/Study on the Prediction of Curing Period for meeting required Concrete Durability, The 5th ACF International conference 2012
- 15) 伊代田岳史/養生終了のタイミングを推測する手法の一提案, コンクリートテクノ6月号 Vol.33, No.6, pp.29~35, 2014
- 16) NETIS登録情報「アクアカーテン」: http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=HR-110011&TabType=2&nt=nt
- 17) 宮原茂禎, 丸屋 剛, 久壽米木義昭, 中田慎一/排水・湿潤連続養生によるコンクリートの耐久性向上技術の開発, 大成建設技術センター報 第45号, pp.23-1~23-7, 2012
- 18) 鹿島建設株 PRESS RELEASE/<http://www.kajima.co.jp/news/press/201404/24c1-j.htm>
- 19) 清水建設株 ニュースリリース/http://www.shimz.co.jp/news_release/2012/2012032.html
- 20) 佐藤工業株 技術とサービス/<http://www.satokogyo.co.jp/technology/detail.php?id=50>
- 21) NETIS登録情報「うるおんマット タイプS, タイプR」 http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=CG-100007, http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=CG-090024

*

*

*