

高断熱性湿潤養生シート工法「アクアサーモ[®]」

川 西 貴 士 近 松 竜 一

水 野 敬 久 阿 部 諭 史

(本社土木本部)

(第二東名稲木工事事務所)

Insulated and Wet Curing Sheet: “Aqua Thermo[®]”

Takashi Kawanishi Ryuichi Chikamatsu

Norihisa Mizuno Satoshi Abe

Abstract

In the construction of mass concrete, thermal cracking of members is easy to produce because of the difference in surface and inside temperatures, so it is necessary to keep the surface of the concrete warm. Moreover, the surface needs to be maintained at a wet condition until concrete hardens enough, since sufficient compressive strength will not be obtained if the concrete surface is dried at an early age. In order to secure the keeping-warm effect and moisturizing effect efficiently, the curing sheet “Aqua Thermo”, which is a combination of an aluminum foil sheet, cellular shock absorbing material, and a nonwoven fabric was developed. Verification of the performance of this curing sheet showed that (1) the keeping-warm effect could be maintained even after removal of forms to prevent surface cracks and that (2) the moisturizing effect allowed the wet condition to be maintained even after removal of forms to make the concrete surface smooth and precise.

概 要

マスコンクリートの施工では、部材の中心部と表面部の温度の差に起因した内部拘束による温度ひび割れが生じやすいため、コンクリートの表面を保温する必要がある。また、材齢初期にコンクリートの表面を乾燥させると水分の逸散により十分な強度発現が得られないため、コンクリートが所定の強度に達するまで、表面を保湿する必要がある。そこで、保温と保湿の両者の性能を効率的に確保するために、断熱性に優れたアルミ箔シートや気泡緩衝材と、保湿性に優れた不織布を一体化した養生シート(以下、アクアサーモと呼称)を開発した。このアクアサーモの性能を検証した結果、(1)型枠の取りはずし後も急冷されることなく保温効果を持続することができ、表層部のひび割れを防止できること、(2)アクアサーモの保湿効果により型枠の取りはずし後も湿潤状態を保つことができ、コンクリートの表層部の硬化組織を緻密にできることを確認した。

1. はじめに

橋脚、ダム の 堤 体、PCタンク の 底 版 等、マッシュ ン な 部 材 に コ ン ク リ ー ト を 打 ち 込 む 場 合、部 材 の 中 心 部 と 表 面 部 と の 温 度 の 差 が 大 き く な り、水 和 熱 に 起 因 し た 内 部 拘 束 に よ る 温 度 ひ び 割 れ が 発 生 し や す い。こ の 温 度 ひ び 割 れ を 抑 制 す る た め に は、コ ン ク リ ー ト の 表 面 を 保 温 性 の 高 い 養 生 材 で 被 覆 し、中 心 部 と 表 面 部 の 温 度 の 差 を 低 減 す る 方 法 が 効 果 的 で あ る。

一 方、材 齢 初 期 に コ ン ク リ ー ト の 表 面 を 乾 燥 さ せ る と、水 和 反 応 に 必 要 な 水 分 が 失 わ れ、十 分 な 圧 縮 強 度 を 確 保 で き な い。所 要 の 性 能 を 満 足 す る コ ン ク リ ー ト 構 造 物 を 構 築 す る に は、コ ン ク リ ー ト が 十 分 硬 化 す る ま で 外 力 の 作 用 か ら 保 護 し、脱 枠 後 は コ ン ク リ ー ト の 表 面 を 湿 潤 状 態 に 保 つ た め の 保 湿 性 が 必 要 と な る。

前 者 の 保 温 性 を 確 保 す る 方 法 と し て、空 気 層 が 含 ま れ て い る 梱 包 用 の 緩 衝 材 を 用 い て 養 生 を 行 う 方 法 が 提 案 さ

れ て い る¹⁾。ま た、後 者 の 保 湿 性 を 確 保 す る 方 法 と し て、型 枠 の 取 り はず し 後 に、コ ン ク リ ー ト の 表 面 の 乾 燥 を 防 ぐ 養 生 用 保 水 テ ー プ が 提 案 さ れ て い る²⁾。

マ ス コ ン ク リ ー ト の 施 工 に お い て は、保 温 性 と 保 湿 性 の 両 方 の 性 能 が 求 め ら れ、今 ま で は、養 生 対 策 を 別 々 に 施 し て い た た め 効 率 が 悪 か っ た。

そ こ で、保 温 性 と 保 湿 性 の 両 方 の 性 能 を 合 理 的 に 得 る 養 生 方 法 と し て、保 温 性 を 高 め る た め に、輻 射 熱 を 反 射 す る アル ミ 箔 シ ー ト と 空 気 層 を 挟 む こ と の で き る 梱 包 用 の 気 泡 緩 衝 材 を 使 用 し、保 湿 性 に 優 れ る 不 織 布 と 一 体 化 さ せ た 養 生 シ ー ト (以 下、ア ク ア サ ー モ と 呼 称) を 考 案 し た。ア ク ア サ ー モ の 概 要 を Fig. 1 に 示 す。

本 稿 で は、こ の ア ク ア サ ー モ の 保 温 お よ び 保 湿 の 効 果 を 検 証 す る た め に、模 擬 試 験 体 を 用 い て 実 験 的 に 確 認 し た 結 果 に つ い て 報 告 す る。ま た、こ の ア ク ア サ ー モ を、実 際 に 部 材 厚 さ の 大 き い 橋 脚 や 冬 季 に 施 工 す る 床 ス ラ ブ に 適 用 し、そ の 性 能 に つ い て 検 証 し た 結 果 を 報 告 す る。

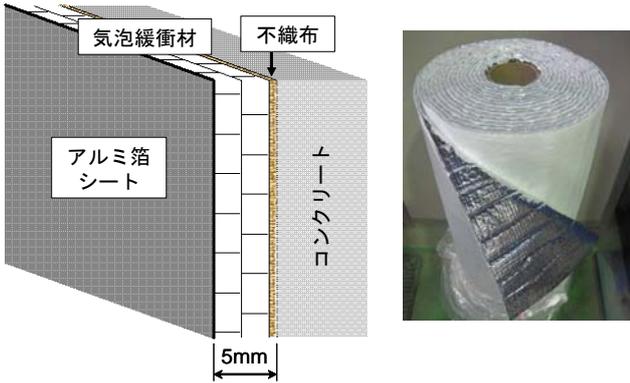


Fig. 1 アクアサーモの概要
Outline of Curing Sheet "Aqua Thermo"

2. 保温効果の検証実験

アクアサーモの保温効果を確認するため、マスブロック試験体を作製し、コンクリート内部の温度履歴を測定し、温度解析により熱伝達率を算定した。次に、実橋脚を対象に温度応力解析を実施し、アクアサーモによる温度ひび割れの低減効果の検証を行った³⁾。

2.1 保温効果の検証実験

実験は、Photo 1に示すように、コンクリートの表面を露出したケース(Case1)とコンクリートの表面に養生シートを貼り付けたケース(Case2)の2ケースについて行った。なお、本実験には、試作的に作製したアルミ箔シートと気泡緩衝材のみを貼り合わせたシート(以下、試作養生シートと呼称)を使用した。

実験には、1m³立方体のマスブロックを使用し、周囲を厚さ30cmの断熱材で被覆した。材齢4日後に側面1面のみ型枠をとりはずし、Case2については、試作養生シートを貼り付けた。試験体には熱電対を設置し、コンクリートの温度履歴を測定した。試験体の概略および熱電対の設置位置をFig. 2に示す。実験には、レディーミクストコンクリートを使用し、呼び強度27でスランブ12cmとし、セメントの種類は、普通ポルトランドセメントとした。

試験体の表面より50mm内部におけるコンクリートの温度履歴をFig. 3に示す。試作養生シートを貼り付けた場合(Case2)は、養生を行っていない場合(Case1)と比較して、温度が降下する勾配が低減され、最大で10℃程度の温度の差が認められた。

実験により計測した温度履歴を基に、熱伝達率を算出するために温度解析を行った。解析結果をFig. 3に併記する。Case1(養生無し)は、熱伝達率を13W/m²℃とし、Case2(試作養生シート貼付け)は4W/m²℃とした場合、実測値と解析値が概ね一致した。試作養生シートを用いることで、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕に記述されている養生マット(熱伝達率5W/m²℃)と同等の値となった。また、密閉されているため風による影響は小さいと考えられる。



Photo 1 養生シートの貼付け状況
Attachment Situation of Curing Sheet

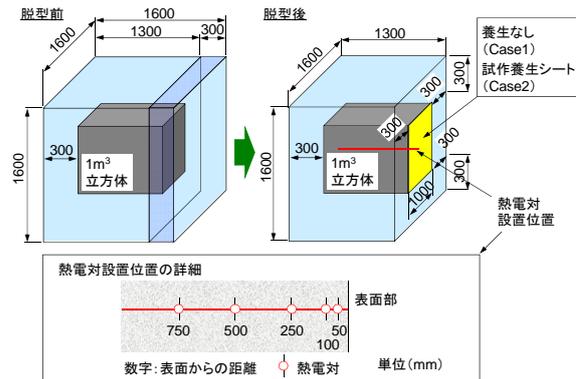


Fig. 2 供試体の概略および熱電対の設置位置
Outline of Specimen and Installation Position of Thermo Couple

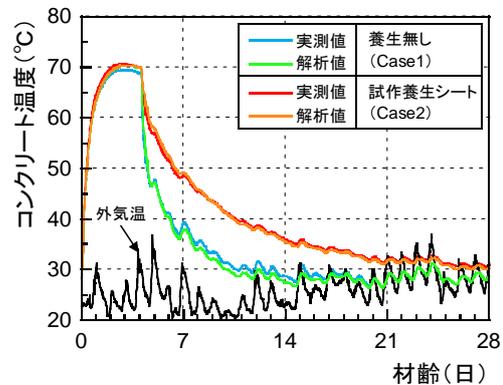


Fig. 3 温度履歴
Temperature History

2.2 温度応力解析によるひび割れ低減効果の検証

前節で得られた熱伝達率をもとに、Fig. 4に示すような橋脚を模擬した3次元モデルを用いて温度応力解析を実施し、Case1(養生無し)とCase2(試作養生シート貼付け)で、温度ひび割れの発生に及ぼす影響を検討した。

橋脚躯体の中心部と表面部におけるコンクリート温度の履歴と表面部のひび割れ指数の履歴をFig. 5に示す。中心部と表面部の最高温度の差を比較すると、Case1が30℃程度に対して、Case2は20℃程度と断熱効果が高いことが確認された。また、試作養生シートを用いることで、ひび割れ指数が増加した。水和熱に起因した内部拘束による温度ひび割れを抑制できることが確認された。

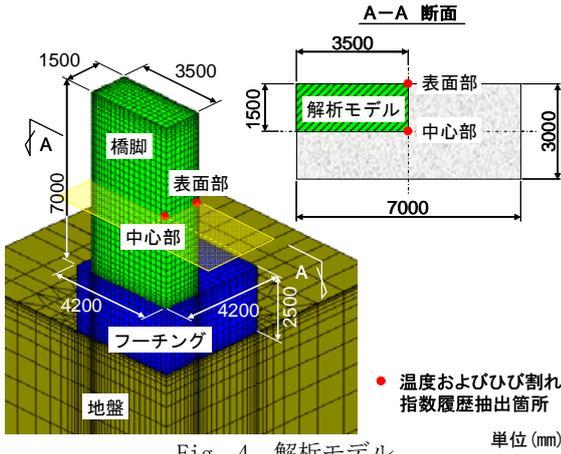


Fig. 4 解析モデル
Analysis Model

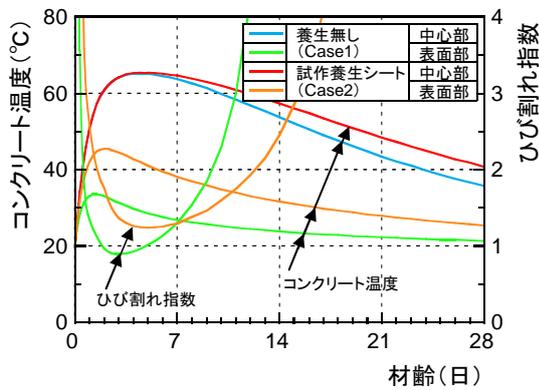


Fig. 5 温度応力解析結果
Result of Temperature Stress Analysis

3. 保湿効果の検証実験

アクアサーモの保湿効果を確認するために、壁状試験体を作製し、側面をアクアサーモで被覆した場合と表面を露出した場合で比較実験を行い、コンクリートの表層部の品質改善効果について検証した⁴⁾。

3.1 実験概要

実験には幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの壁状試験体を使用し、気温20℃で湿度60%一定の室内に存置した。材齢2日で型枠を取りはずし、コンクリートの表面を露出したケース(Case1)とアクアサーモを貼り付けたケース(Case2)の2ケースについて行った。Case2については、1日1回不織布に給水し、14日間養生を行った。給水は、アクアサーモを取りはずし、水を垂れない程度に噴霧することでを行い、給水後は再度養生シートを貼り付け、養生を続けた。その後は、アクアサーモを撤去し、表面を露出させた。コンクリートの水セメント比は55%とし、セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。材齢28日の圧縮強度は約40N/mm²であった。

試験項目として、表層部の保湿性を確認するために高周波容量式の含水率計を用いて含水率を測定した。また、表層部の品質の向上効果を確認するために、テストハン

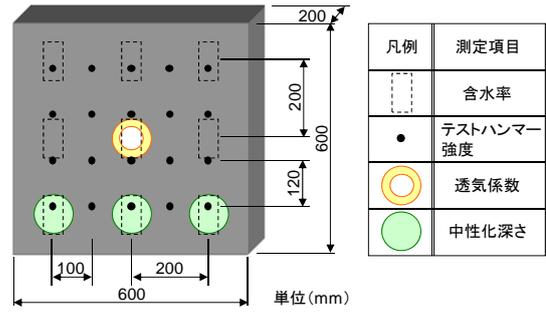


Fig. 6 各種試験の測定位置
Measurement Position of Test

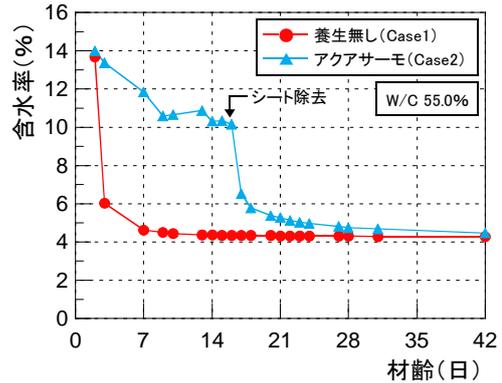


Fig. 7 含水率の推移
The History of Moisture Content

マー強度、透気係数および中性化深さを測定した。テストハンマー強度は、JSCE-G 504に準拠して測定し、透気係数は、Torrent法にて測定した。また、中性化深さは、試験体から採取したφ100mmのコアを用いて促進試験を実施し、JIS A 1152に準拠して測定した。促進条件は、温度20±2℃、相対湿度50±5%および二酸化炭素濃度5±0.2%とした。各種試験の測定位置をFig. 6に示す。

3.2 実験結果および考察

型枠を取りはずした後のコンクリートの表層部の含水率の経時変化をFig. 7に示す。アクアサーモで被覆しない場合(Case1)は、含水率が型枠を取りはずした後に急激に低下し、数日で4%程度に収束した。一方、アクアサーモで被覆した場合(Case2)は、含水率が急激に低下することなく10%以上で保持されていた。その後、アクアサーモを撤去すると含水率は急激に低下し、10日後にはCase1(養生シート無し)と同程度の含水率まで低下した。

コンクリートの表層部のテストハンマー強度、透気係数および中性化深さの測定結果をそれぞれFig. 8およびFig. 9に示す。含水率の影響を考慮して、測定は、含水率が収束した後に実施した。アクアサーモを設置することで表層の基準反発度は約10%増大し、透気係数は約1/30に低減された。中性化深さは促進期間4週において約40%に低減された。いずれも表層の水と反応が進行し緻密な硬化組織が形成されたことによるものと考えられる。表層の強度や耐久性を向上する上で、アクアサーモの設置により十分な湿潤養生効果が得られると判断される。

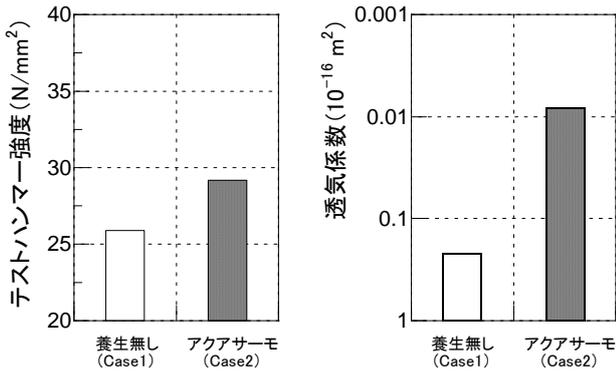


Fig. 8 テストハンマー強度および透気係数の比較
Comparison of Concrete Strength of the Test Hammer and Coefficient of Air Permeability

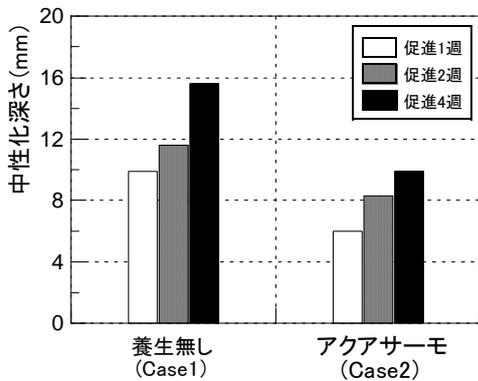


Fig. 9 中性化深さの比較
Comparison of the Carbonated Thickness

4. 実構造物における性能検証実験

4.1 部材厚さの大きい橋脚の養生対策事例

鉄道高架橋は、マッシュな柱や梁で構成される場合が多く、躯体コンクリートの表層部の品質を向上するには、保温と保湿の両者の効果が得られる方法にて養生を行うことが重要となる。特に、温度ひび割れ抑制の観点から低熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートを冬季に打ち込む場合、水和反応の速度が遅く、乾燥の影響を受けやすいことから、材齢初期の養生が重要となる。そこで、実際に鉄道高架橋の中で、部材厚さの大きい橋脚にアクアサーモを適用した場合の保温および保湿性について確認した⁵⁾。

縦2500mm×横5000mm×高さ5400mmの寸法の橋脚を対象に実験を行った。コンクリートの打込み後は型枠の上からアクアサーモで被覆し、5N/mm²の圧縮強度が得られた材齢3日後に型枠を取りはずし、その後は、コンクリートの表面をアクアサーモにて被覆した(Case3)。また、比較として、ビニールシートにより養生する(Case4)部位を設け、アクアサーモの保温効果の比較を行った。アクアサーモには1日1回吸水させ、材齢28日まで養生を行った。アクアサーモの貼付け状況をPhoto 2に示す。コンク

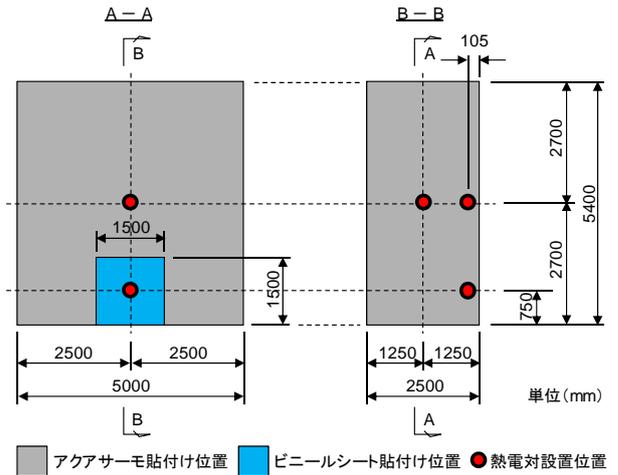


Fig. 10 熱電対の設置位置および養生方法
Installation Position and Cure Method of Thermo Couple



Photo 2 橋脚への養生シートの貼付け状況
Attachment Situation of Cure Sheet to Pier

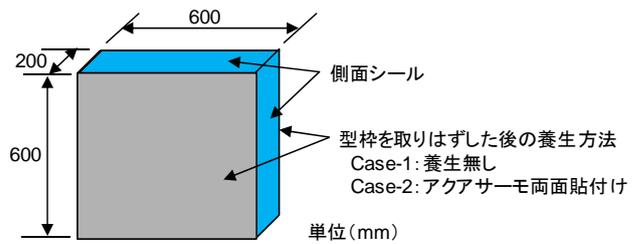


Fig. 11 保湿効果確認用供試体の概要
Outline of Specimen

リートの配合は、30-12-20Lであった。セメントは低熱ポルトランドセメントを使用した。

保温性を確認するために、橋脚の中心部と表層部に熱電対を取り付け、温度履歴を測定した。熱電対の設置位置および養生方法をFig. 10に示す。外気温の履歴も併せて測定した。

保湿性を確認するために、幅600mm×高さ600mm×厚さ200mmの供試体を併せて作製した。躯体と同様に材齢3日で型枠を取りはずし、コンクリートの表面を露出した場合(Case1)とアクアサーモで被覆した場合(Case2)で比

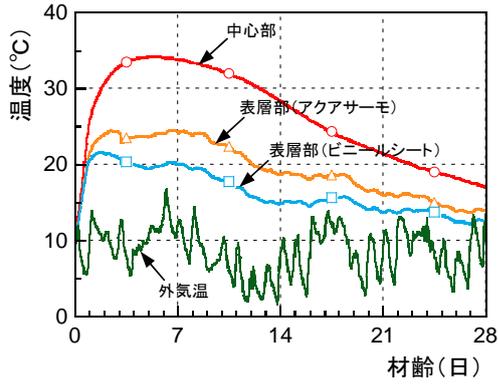


Fig. 12 コンクリートの温度計測結果
Temperature Measurement Result of Concrete

較を行った。供試体の概要をFig. 11に示す。躯体と同様に材齢28日でアクアサーモを撤去した。型枠を取りはずした後、表層部の含水率の履歴を測定した。また、3章と同様に、含水率が収束した材齢91日の段階で、テストハンマー強度と透気係数を測定した。実際の橋脚の品質を確認するために、材齢91日に同様に躯体(Case3)のテストハンマー強度および透気係数を測定した。

型枠を取りはずした後の水分の逸散が圧縮強度に与える影響を確認するために、材齢1, 2, 3, 7, 14, 28, 56 および91日に圧縮強度試験を実施した。試験体の養生方法は、現場での水中養生、封緘養生および気中養生の3種類とし、圧縮強度の比較を行った。

コンクリートの温度計測結果をFig. 12に示す。中心部の温度は、最高で34°C程度まで上昇した。アクアサーモを貼り付けた場合、表層部の温度は最高で25°C程度であった。アクアサーモの保温効果により、中心部と表層部の温度差は、概ね10°C程度で推移した。ビニールシートで養生した場合、アクアサーモと比べて、5°C程度低い温度で推移した。アクアサーモの撤去後、コンクリートの表面には特にひび割れは認められず、良好な出来ばえであった。

小型の試験体において、コンクリートの表面を露出した場合(Case1)と、アクアサーモで被覆した場合(Case2)の含水率の履歴をFig. 13に示すアクアサーモで被覆することで、2章の結果と同様に、急激に含水率が低下することなく、湿潤状態を保つことができた。また、実際の躯体のコンクリート(Case3)の表層部におけるアクアサーモ撤去後の含水率は13.0%であり、小型の試験体と同等の保湿性が得られることを確認した。

テストハンマー強度の測定結果をFig. 14に示す。透気係数の測定結果をFig. 15に示す。コンクリートの表面を露出させた場合(Case1)に比べてアクアサーモで被覆した場合(Case2)の方が強度は高く、透気係数は小さい値を示しており、保湿の効果により表層部のコンクリートが緻密化されていることが確認された。

圧縮強度を積算温度の対数で整理した結果をFig. 16に示す。現場にて水中養生および封緘養生を行い、水分の

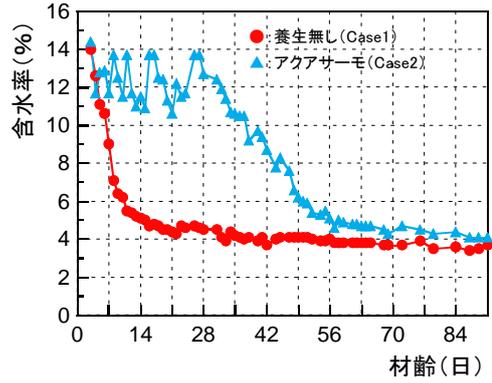


Fig. 13 含水率の推移
History of Water Content

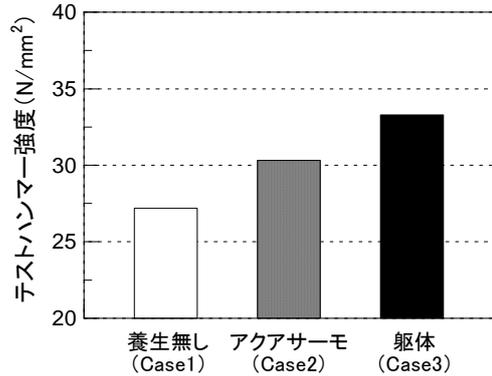


Fig. 14 テストハンマー強度の比較
Comparison of Concrete Strength by the Test Hammer

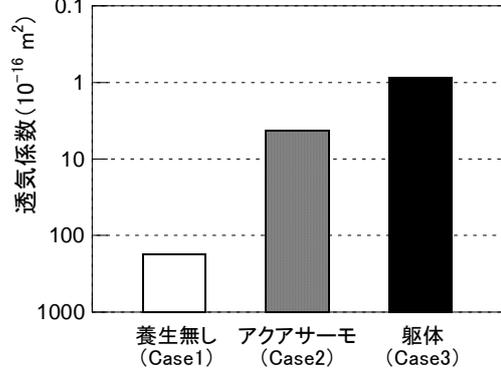


Fig. 15 透気係数の比較
Comparison of Coefficient of Air Permeability

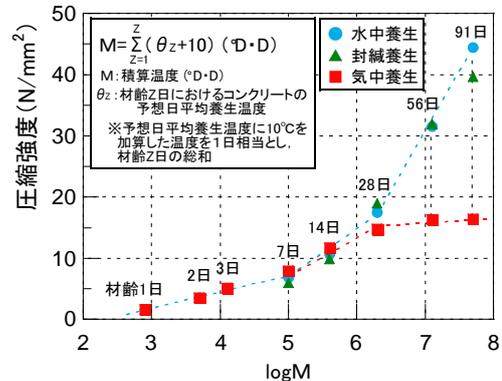


Fig. 16 積算温度と圧縮強度の関係
Relation between Cumulative Temperature and Compressive Strength

逸散を防止した場合は、材齢91日の段階でも圧縮強度の増加が認められるが、型枠を取りはずした後に気中養生を行った試験体は、材齢28日以降の圧縮強度の増進がほとんどなく、設計基準強度(30N/mm²)を大幅に下回る結果であった。型枠を取りはずした後も十分な圧縮強度が得られるまで表層部の水分の逸散を防止することが重要であることを示唆する結果となった。

4.2 床スラブの寒中時の施工事例

建屋の床スラブの冬季施工においては、初期凍害が懸念される。特に、寒冷地での施工が計画されていた施設の床スラブは、厚さが20cmと薄く外気温の影響を受けやすいこと、冬季には-10℃を下回る場合があり、打込み直後から冷気を遮断できる保温養生対策が求められた。そこで、実際に、当該床スラブの冬季の養生対策として、アクアサーモを適用した場合の保温性について検証を行った⁶⁾。

構造物の設計基準強度は21N/mm²、スランプは15cmであり、セメントには高炉スラグ微粉末が混合された早強ポルトランドセメントを使用した。コンクリートの打込み直後からアクアサーモを敷設し、7日間養生を行った。アクアサーモの敷設状況をPhoto 3に示す。保温性を確認するために、アクアサーモの下側におけるコンクリートの表面部の温度と、併せて外気温を測定した。

コンクリートの表面部の温度履歴をFig. 17に示す。外気温が-10℃を下回っても、アクアサーモの下側のコンクリートの表面部の温度は、3℃以上で推移しており、コンクリートの凍結を防止できた。アクアサーモの保温の効果により、材齢7日の段階で7N/mm²程度の圧縮強度が得られた。アクアサーモの撤去後、コンクリートの表面には特にひび割れは確認されず、良好な出来ばえであった。外気温が-10℃を超えるような極寒時の打込みにおいても、アクアサーモで被覆することで、十分な保温養生が可能となることが確認された。

5. まとめ

マスコンクリートの表層部の品質を合理的に向上させるために考案した保温と保湿の両者の性能を兼ね備えた高断熱性湿潤養生シート(アクアサーモ)の各種性能を検証し、実橋脚に適用した結果、以下の知見が得られた。

- 1) アクアサーモの熱伝達率は、4W/m²℃であり、断熱性が高い。強度発現の遅いコンクリートを用いた場合や冬季の施工に対して、有効な養生対策となる。
- 2) アクアサーモを設置することにより、型枠を取りはずした後も急冷されることなく、保温効果を持続することができ、表層部の温度ひび割れを防止できる。
- 3) アクアサーモを設置している間は、コンクリートの表層部の含水率を10%以上に保つことができる。
- 4) アクアサーモの保湿効果により、コンクリートの表層部の品質が向上し、緻密な硬化組織を形成できる。



Photo 3 床スラブへの養生シートの敷設状況
Situation of Covering of Cure Sheet to Floor Slab

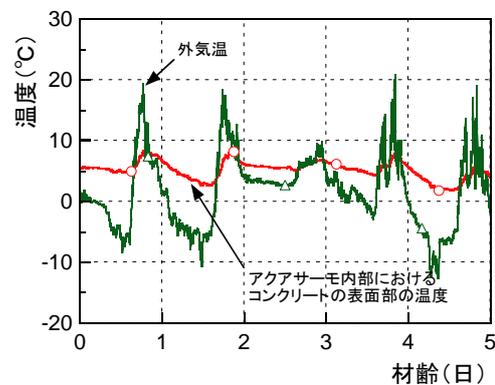


Fig. 17 コンクリートの表面部の温度履歴
Temperature History of Surface of Concrete

参考文献

- 1) 伊藤健一, 他: LNG地下式貯槽の底版コンクリートにおける梱包用緩衝材の養生材としての適用, 土木学会年次学術講演会講演概要集, vol.63, No.2, pp.275-276, (2008)
- 2) 近松竜一, 他: コンクリートの表面貼付型養生テープの開発, 日本コンクリート工学協会, vol.24, No.1, pp.1035-1040, (2002)
- 3) 川西貴士, 他: 断熱性に優れた養生シートの温度ひび割れ低減効果に関する検証, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, V-408, pp.815-816, (2010)
- 4) 阿部諭史, 他: 高断熱性湿潤養生シートによるコンクリート表層の品質改善効果, 土木学会第66回年次学術講演会, VI-363, pp.725-726, (2011)
- 5) 森川秀人, 他: 鉄道高架橋におけるコンクリートの表層部の品質向上対策, 土木学会第67回年次学術講演会, VI-373, pp.745-746, (2012)
- 6) 三浦律彦, 他: 震災廃棄物処理施設建設工事での低炭素型のコンクリートの冬季施工と品質管理, 土木学会第67回年次学術講演会, V-544, pp.1087-1088, (2012)