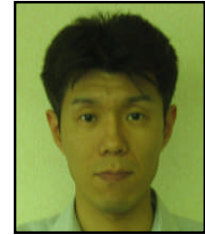


コンクリート構造物への養生の重要性について

藤田 龍二¹

中国技術事務所 品質調査課 (〒736-0082 広島市安芸区船越南2-8-1)



要旨：耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するため、現地において積極的に行える対策の一つとして、コンクリート打込み後における十分な養生を実施することが挙げられる。

本実験では、養生に着目し、耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するための養生効果を実証確認することを目的に、中国技術事務所構内において、実物大の試験体（壁高欄）を作製し、力学特性調査及び耐久性調査を実施することにより、養生期間の違いによる品質性状の検証を行った。その結果、養生期間の違いによる収縮ひずみの関係が顕著に表れた。

キーワード 湿潤養生、養生効果、密実性、収縮ひずみ、耐久性

1. はじめに

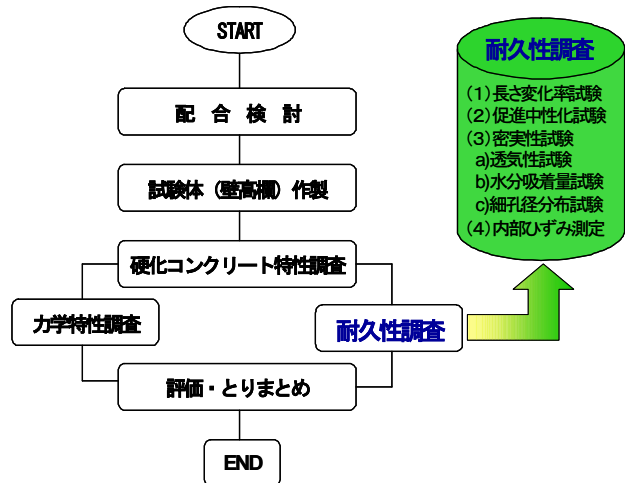
公共施設におけるコンクリート構造物は、永久構造物と扱われているが、劣化するのも事実で、その要因としては、コンクリートの使用材料はもとより、施工時の問題、環境条件等により促進すると言われている。これらの問題に対し、コンクリート構造物の耐久性を高めるためには、使用材料の選定を初めとして、配合、設計、施工等数多くの要因について十分な検討が必要となる。なかでも、耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するため、現地において積極的に行える対策の一つとして、コンクリート打込み後における十分な養生を実施することが挙げられる。しかし、コンクリートの養生に関しては、養生方法の違いによる効果性について定量的に評価されているとは言えない。打設されたコンクリートの最終的な品質は、工場内で製作されるプレキャスト製品とは異なり、現場に搬入されたレディーミクストコンクリートを打ち込んで施工する場所打ちコンクリートでは、施工場所の環境条件に大きく左右される。よって、その場の環境に応じた養生を行うことが重要となる。このように、コンクリート構造物は十分な養生を行ってこそ所要の品質が得られるものであり、耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するためには養生の占める割合は大きいと考えられる。以上のことから、養生に着目し、耐久性に優れたコンクリート構造物を施工するための養生効果を実証確認することを目的に、中国技術事務所構内において、実物大の試験体（壁高欄）を作製し、養生期間の違いによる品質性状の検証を行った。

2. 実験概要

(1) 実験の流れ

養生方法及び養生期間を3ケースに分け、同一の材料を用いて実験を行った。

以下、ワークフローを示す。



(2) 配合条件

コンクリートの配合は、直轄工事に実際に用いられる、橋梁用防護柵に記載されている直壁型の設計条件を基に、土木共通仕様書第3章第3節のレディーミクストコンクリートとした。コンクリート配合試験は、骨材の物理試験結果を基に実施した。以下、計画配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの計画配合

種類	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	呼び強度 (N/mm ²)	所要スラブ (cm)	骨材最大寸法 (mm)	所要空気量 (%)	セメントの種類
二号	55 以下	175 以下	24	8	20	4.5	高炉セメント B種

(3) 試験体（壁高欄）

実験に用いる実物大試験体は、コンクリートの変状が再現し易い橋梁の鉄筋コンクリート製壁高欄を模擬した高さ1.10m×幅0.25m×長さ4.14mの各3基作製した。図-1に模式図、図-2に試験体を示す。

床版は、壁部に対する拘束性を高めるために、剛とする必要がある。したがって、壁部打設の1ヶ月程度前には打設を行い、壁試験体の打設に関しては、練りパッチ間によって生じるコンクリート品質の不確定要因を消すため、運搬車両は1台により2層に分けて締め固めを行った。

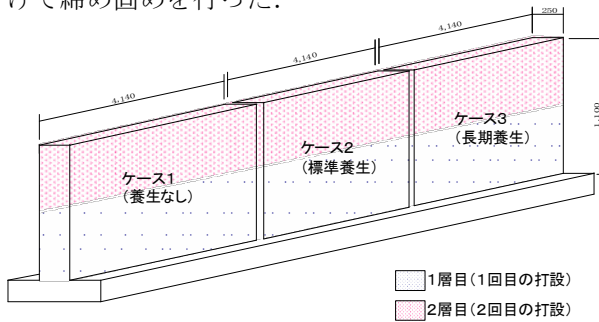


図-1 模式図



図-2 試験体

(4) 養生方法

コンクリートの養生について、土木学会コンクリート標準示方書 施工編2007年制定では、「湿潤養生として、打込み後、硬化を始めるまで、日光の直射、風などによる水分の逸散を防がなければならない」、「コンクリートの露出面は、表面を荒らさないように作業が出来る程度に硬化した後に、養生マット、布等をぬらしたもので覆うか、または散水、湛水を行い、湿潤状態にたもたなければならない」と定められている。今回、日平均気温15℃以上、セメント種類を高炉セメントB種としたため、ケース2の標準養生は、7日間とした。

なお、今回の実験では、養生期間の違いによる品質性状の検証のため、表-2に示す方法で実施した。

表-2養生方法

ケース	養生方法
ケース1 (養生なし)	脱型後、湿潤養生を行わず、暴露養生とした。ただし、降雨等の影響を避けるため材齢7日まで試験体をシートで覆った。
ケース2 (標準養生)	脱型後、養生マットにより材齢7日まで湿潤養生を行った。
ケース3 (長期養生)	脱型後、養生マットにより材齢28日まで湿潤養生を行った。

3. 調査項目

調査項目として、養生条件の違いによる品質性状の検証を行うため、力学特性調査及び耐久性調査を実施した。特に今回は、コンクリートの密実性に対し、現場での確かな評価が期待できる非破壊試験(透気性試験・水分吸着量試験)を取り入れ、今後現場での品質管理へ反映させる基礎資料を得る事も一環として実施した。

(1) 密実性試験

密実性については、「硬化したコンクリートの密実性試験方法(案)」に従い、非破壊試験による透気性試験、水分吸着量試験及び破壊試験による細孔径分布試験を実施し、総合的に評価を行った。この評価については、非破壊試験で得られた透気性と水分吸着性より総空隙率を推定し、密実性について評価(品質ランク分け)を行った。さらに、細孔径分布試験により総空隙率を求め立証を行った。

a) 透気性試験

透気性試験は、Material Advanced Services Ltd.社製Permea-TORRを用い、コンクリート表層部の透気性測定を行った。

測定は、内部チャンバーと外部チャンバーの2個のチャンバーを備えたセルを用いて、内部チャンバーからの空気(圧力)を真空ポンプにより減圧し、経時的にチャンバーの圧力変化の測定を行い、測定コンピュータにより透気係数が算出した。図-3に測定器の概略図を示す。

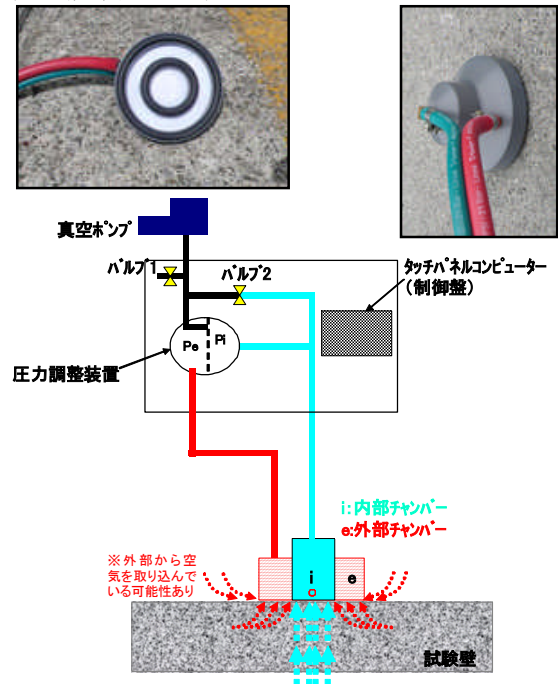


図-3 測定器概略図

b) 水分吸着量測定

水分吸着量測定は、コンクリート表面に設置した容器に水を溜め、コンクリートと水が接する部分からコンクリート中へ浸透する減水量を測定した。

測定器は、真空ポンプで吸引した反力プレートによりプラスチック製のテストチューブをコンクリート表面に圧着して固定し、テストチューブ内に水を溜め経過時間と水量の変化を測定した。

テストチューブのコンクリート吸水部は直径が25mm、水頭基準高さが105mm。図-4に測定器の概略図を示す。

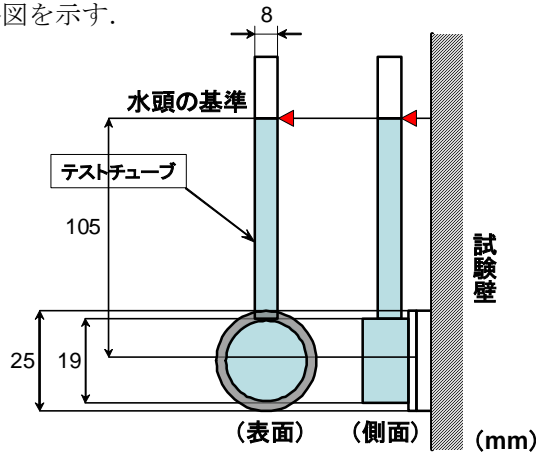


図-4 測定器概略図

c) 細孔径分布測定

細孔径分布測定は、各養生ケース試験体より採取した材齢28日圧縮強度測定用コア供試体を用い、(社)日本コンクリート工学協会「コンクリートの試験・分析マニュアル」2000年5月の 5.3.7 微構造/組織の分析(3)空隙率、細孔径分布の測定方法、F-3水銀圧入法に準じて行った。

測定試料は、コア供試体の南面表層部・北面表層部およびコア中央部について測定を行った。

(2) 内部ひずみ測定

硬化コンクリートの体積変化は、水和熱あるいは温度変化、乾燥、湿潤、自己収縮、外力、クリープ、コンクリート内部の化学反応等に影響を受ける。一般的に、コンクリート構造物では、コンクリートが拘束されており、体積変化が生じると複雑な応力が発生し、拘束度合いによりひび割れが発生しやすくなる。ここでは、型枠脱型時期や養生に影響を受ける乾燥及び自己収縮に着目し、試験体に埋込み型ひずみ計を埋設し、内部に発生するひずみを測定した。

ひずみの測定方法は、壁試験体のコンクリート打設直後より、硬化過程のコンクリートの収縮ひずみ(自己収縮を含む)を(株)東京測器研究所製埋込みひずみ計KM-100BT(熱電対併用)を用いて行い、データの収集は(株)東京測器研究所製「TDS-303」のデ

ータロガーを使用した。

埋込みひずみ計取付けは、各ケースの上段、中段、下段の3箇所を設置した。取付け方法を図-5に示す。

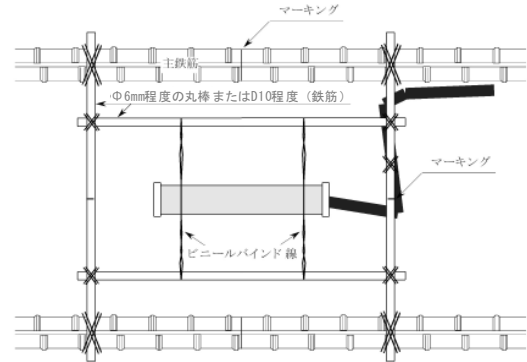


図-5 埋込みひずみ計取付け方法

(3) 促進中性化試験

養生条件の違いによる中性化進行度合いを明確にするため、供試体を4ケース作製した。この内1つはJIS A 1153(促進中性化試験方法)に準じた方法で使用コンクリートの中性化速度を確認し、その他の供試体については、各養生条件と同様の日数を現場で養生し、それらの関連性を求め、養生の相違が中性化に与える影響を捉えた。

4. 実験結果及び考察

(1) 長さ変化率と内部ひずみの関係

供試体(JIS A 1129)の長さ変化試験結果では、乾燥収縮ひずみは、経過時間と共に比例的に大きくなった。しかし、試験体である実構造物は、環境の影響や内部鉄筋の拘束があるため、供試体の試験結果と合致しなかった。

一方、各試験体内部に埋設した内部ひずみ結果より、最も大きな収縮ひずみを測定した箇所は、表-3に示すように全ての養生ケースで試験体上部であった。この結果、供試体の長さ変化試験における乾燥収縮ひずみは、実構造物(上部の無拘束に近い内部ひずみ)の約2~4倍の値となった。図-6に供試体の長さ試験結果、表-3に乾燥収縮ひずみの比較を示す。

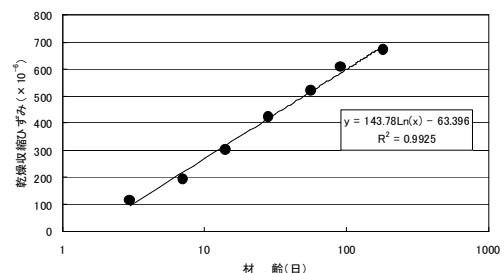


図-6 供試体の長さ試験結果

表-3 上部の無拘束に近い内部ひずみと長さ変化試験における乾燥収縮ひずみ(μ)

養生ケース	乾燥収縮ひずみ	
	内部ひずみ	供試体
ケース1: 養生無し	-188 (38.5日)	-461 (38.5日)
ケース2: 標準養生	-157 (37.5日)	-458 (37.5日)
ケース3: 長期湿潤養生	-131 (88.5日)	-581 (88.5日)

(2) 中性化深さと透気係数の関係

試験体から採取したコアの中性化深さと試験体の各養生ケースの透気係数の関係を図-7に示す。

この結果は、長期湿潤養生することで、中性化深さが浅くなり、透気係数も低い値となった。

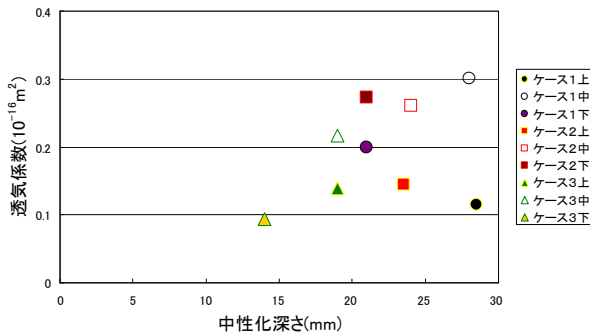


図-7 コアの中性化深さと試験体の各養生ケースの透気係数の関係

(3) 透気係数と水分吸着量の関係

各ケースの透気係数は、材齢28日を超え、91日以降においては、ほぼ変化が見られず、養生無し(ケース1)と標準養生(ケース2)では大きな差はなく、長期湿潤養生(ケース3)では、他の養生と比べ約1/3の値であった。

水分吸着量でも、透気係数と同様に長期湿潤養生(ケース3)では、他の養生と比べ約1/3~1/2の値であった。

透気係数が小さく水分吸着量が少ないことは、コンクリートが密実であり、コンクリートの密実性は養生期間により大きく異なることが明確となった。

透気係数の91日以降、養生なし(ケース1)と標準養生(ケース2)の値が逆となったが、これについては、何らかの外的要因などの不確定要素があったものと考えられる。ただし、材齢28日では、養生の違いと透気係数の関係が明確に現れた。

図-8に透気係数、図-9に水分吸着量の養生ケース別結果を示す。

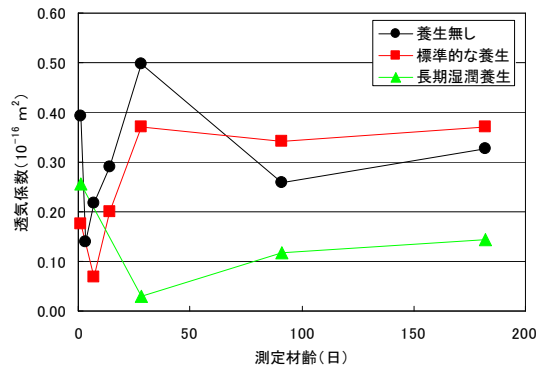


図-8 養生ケース別透気係数

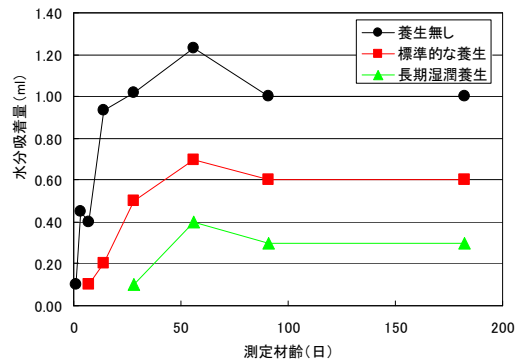


図-9 養生ケース別水分吸着量

a) 透気係数および水分吸着量によるランクの評価

透気係数や水分吸着量のランクによる評価は、現在、土木学会や日本コンクリート工学協会等の委員会で検討されているが、ここではNEXCO(旧日本道路公団)で提案されているランク評価を行った。

透気係数の平均評価結果は、材齢182日まで全てのケースで「ランク3: 長期的な密実性に懸念があるので、以後の経過を確認する」となった。図-10、表-4に透気係数ランク評価を示す。

水分吸着量の平均評価結果は、ケース1および2で「ランク2: コンクリートの密実性は十分確保されており処置の必要はない」となりケース3では「ランク1: コンクリートの密実性は十分確保されており処置の必要はない」の評価となった。図-11、表-5に水分吸着量ランク評価を示す。

ケース毎の透気係数および水分吸着量のランク評価では大きな差は認められず、現状では密実性が確保されている結果となった。

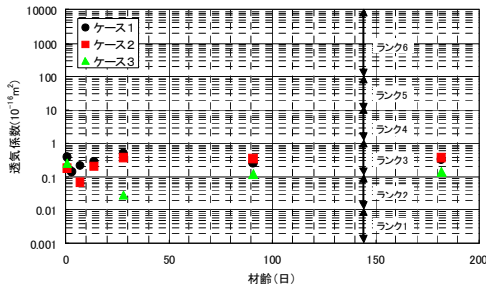


図-10 透気係数ランク評価結果

表-4 透気係数ランク評価

ランク	処置方法
1・2	コンクリートの密実性は十分確保されており処置の必要はない
3	長期的な密実性に懸念があるので、以後の経過を確認する
4	長期的な密実性が不十分なので、含浸系塗布材を用いて補修する
5	測定時で密実性が不十分なので、ポリマーセメント・モルタルを用いて補修する
6	密実性に過失の可能性があるので、詳細に対策を検討する

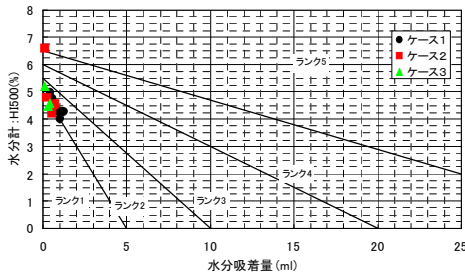


図-11 水分吸着量ランク評価結果

表-5 水分吸着量ランク評価

ランク	処置方法
1・2	コンクリートの密実性は十分確保されており処置の必要はない
3	コンクリートの密実性は十分確保されていると考えられるが、以後の経過を定期的に確認する
4	長期的な密実性が不十分なので、含浸系塗布材を用いて補修する
5	測定時で密実性が不十分で、密実性に過失の可能性があるので、詳細に原因を含めて対策を検討する

(4) 総細孔容積と中性化深さの関係

図-12に材齢28日における総細孔容積と試験体と同様な養生条件で実施したJISによる促進中性化深さの関係を示す。

試験体と同様な養生条件で実施した、JISによる促進中性化深さは、総細孔容積と高い相関が認められた。

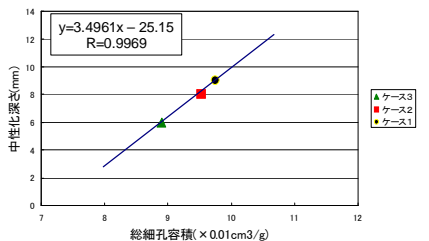


図-12 総細孔容積と中性化深さの関係

(5) 総細孔容積と圧縮強度の関係

同一配合のコンクリートでも、採取したコアの箇所によって圧縮強度が異なることは、細孔構造によることが明確となった。この細孔構造が異なった要因としては、養生条件に起因するものであり、長期湿潤養生を行うことで、強度増進が図れる。

図-13に材齢28日における総細孔容積と試験体から材齢28日で採取したコア供試体による圧縮強度の関係、表-6に各ケース毎の総細孔容積と圧縮強度の値を示す。

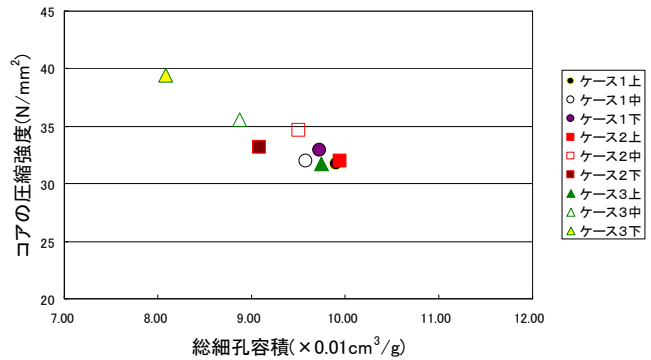


図-13 総細孔容積と圧縮強度の関係

表-6 各ケース毎の総細孔容積と圧縮強度の値

		総細孔容積	コア圧縮強度
		($\times 0.01 \text{cm}^3/\text{g}$)	(N/mm^2)
ケース1	上	9.91	31.7
	中	9.58	32.0
	下	9.73	32.9
ケース2	上	9.95	32.0
	中	9.51	34.6
	下	9.08	33.2
ケース3	上	9.75	31.7
	中	8.87	35.6
	下	8.08	39.4

(6) 内部ひずみについて

a) 養生方法の違いと内部ひずみの関係

各試験体内部に埋設した内部ひずみ結果より、最も大きな収縮ひずみを測定した箇所は、表-7に示すように全ての養生ケースで試験体上部で発生した。

表-7 最大収縮ひずみ(μ)

養生ケース	測定位置		
	上部	中部	下部
ケース1: 養生無し	-188 (38.5日)	-92 (37.5日)	-36 (0.5日)
ケース2: 標準的な養生	-157 (37.5日)	-70 (37.5日)	-40 (0.4日)
ケース3: 長期湿潤養生	-131 (88.5日)	-56 (0.4日)	-38 (0.5日)

最大収縮ひずみは、養生無し、標準養生、長期湿潤養生と養生期間が長くなるにつれ、本コンクリートの場合、約30 μ 小さくなり、養生なしと長期湿潤

養生では約60 μ の差を確認した。この結果より、湿潤養生を継続することにより、コンクリートの乾燥収縮に与える影響は抑制された。各試験体内部へ埋設した、材齢約6ヶ月までのひずみを図-14に示す。

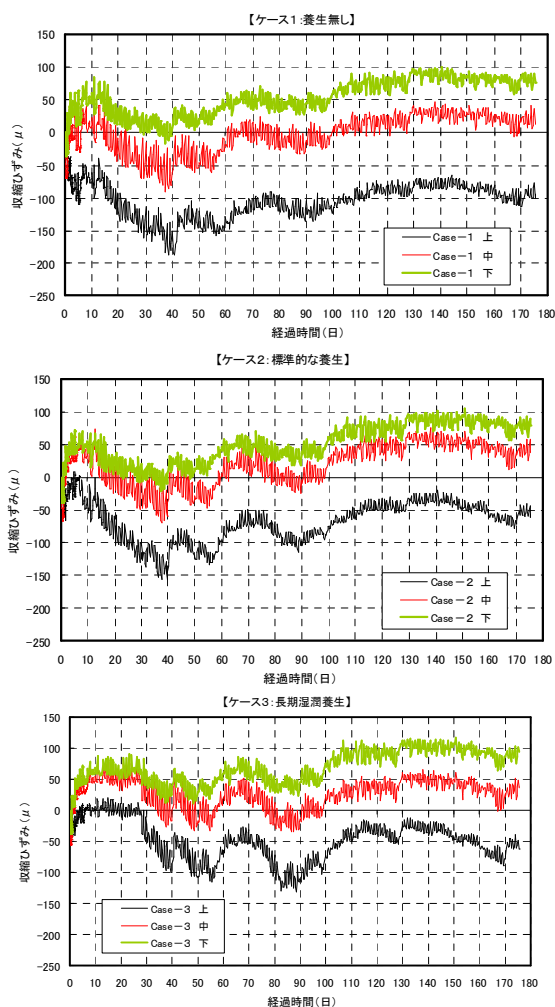


図-14 各試験体の内部ひずみ

b) 経過材齢と内部ひずみの関係

経過材齢と内部ひずみの関係では、養生無しと標準養生では、材齢40日程度で最大収縮ひずみを測定したが、長期湿潤養生では、材齢90日程度で最大収縮ひずみを示した。これは、材齢28日以降の環境条件は同一なため、材齢28日以内のコンクリートの内部組織の相違に影響を受けたものと考えられる。

c) 打上り高さで内部ひずみの関係

全ての養生ケースにおいて、試験体上部の収縮ひずみが大きい値を示し、下部が最も小さい値を示した。全ての試験体下部は、床板における外部拘束を受けており、この外部拘束により自由な収縮ひずみが制御され下部が最も小さくなったものと考えられ

る。このコンクリート自体の潜在的な環境における収縮ひずみは、試験体上部であり、未拘束状態であれば、下部でも上部と同様なひずみを示すはずであるが、外部拘束により下部は小さくなり、そのひずみ差分応力が生ずると思われる。この応力が、コンクリートの引張強度を上回る場合、床板と試験体の接合部分より収縮ひびわれが発生する。

5. まとめ

本実験では、養生条件の違いがコンクリートに及ぼす影響について実証実験を実施した結果、以下の所見が得られた。

- (1) 初期に養生を十分に行うことによりコンクリートの乾燥収縮に与える影響は抑制され、収縮ひずみは小さくなる。
- (2) 湿潤養生期間の違いによる収縮ひずみの発生時期及び最大収縮ひずみ量との関係が顕著に表れた。これは十分に養生を行うことにより水和反応に伴う細孔中の自由水や含隙水の量が少なくなった為、乾燥収縮が低くなったものと考えられ湿潤養生をより長くすることで、コンクリートの耐久性は向上する。
- (3) 長期湿潤養生することで、透気係数及び総細孔容積が小さく、中性化の浸透が浅くなった。
- (4) 長期湿潤養生では、透気係数及び水分吸着量が他の養生と比べ低い値となり、コンクリートの組織が緻密であることが言える。
- (5) 測定材齢28日では、養生の違いと透気係数の関係は明確に表れた。
- (6) 十分に湿潤養生を行うことで、強度増進が図られる。

以上より、可能な限り湿潤状態を保つことにより、コンクリートが緻密となり、大気中の炭酸ガスなどが浸透しにくくなり、ひずみにおいても抑制することが判明され、コンクリートの耐久性の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 日本規格協会: JISハンドブック2009
- 2) 日本規格協会: コンクリート工学ハンドブック
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書「施工編」
- 4) (社)日本コンクリート工学協会: コンクリート便覧
- 5) (社)日本コンクリート工学協会: コンクリートの試験・分析マニュアル
- 6) (社)日本道路協会: 道路橋示方書Ⅲ
- 7) (株)高速道路総合技術研究所: 硬化したコンクリートの密実性試験方法(案)