

## 暑中環境下で打設されるコンクリートの湿潤養生期間に関する研究：劣化層が圧縮強度に及ぼす影響

北山, 博規  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

小山, 智幸  
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

小山田, 英弘  
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 | 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/19122>

---

出版情報：都市・建築学研究. 14, pp.159-167, 2008-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門  
バージョン：  
権利関係：

## 暑中環境下で打設されるコンクリートの湿潤養生期間に関する研究 —劣化層が圧縮強度に及ぼす影響—

### Minimum Curing Period on Hot Weather Concreting —Effect of Deteriorated Layer on Compressive Strength—

北山博規\*<sup>1</sup>, 小山智幸\*<sup>2</sup>, 小山田英弘\*<sup>2</sup>

Hironori KITAYAMA, Tomoyuki KOYAMA and Hidehiro KOYAMADA

This research examined the minimum curing period of concrete in hot weather concreting. As a result of the experiment using the full scale concrete wall specimens (experiment I), it was clarified that the surface part of the concrete walls removed frameworks in the early age less than 3 days deteriorated apparently, although the significant difference in measured values of concrete strength did not be observed according to the difference of its curing period. The reason that the effect of the curing period on compressive strength were not obvious as compared with that on the porosity of cement hydrates and the carbonation were explained on the relation between the strength and the thickness of the deteriorated layer (experiment II).

**Keywords** : Hot Weather Concreting, Minimum Curing Period, Quality Control, Compressive Strength, Full Scale Model Wall

暑中コンクリート工事, 湿潤養生期間, 品質管理, 圧縮強度, 実大模擬試験体

#### 1. はじめに

暑中環境下で製造, 施工されるコンクリートは, 高い外気温や強い日射の影響で, 材料温度が上昇し, コンクリートの練上がり温度が高くなる. その結果, 製造時において, スランプが出にくくなる, 凍結融解作用に対する抵抗性を高めるのに必要な空気がコンクリートに連行されにくくなる, さらにこれらの安定性が悪くなるなどの「わるさ」が生じる. 上記環境の影響は輸送から打込み後初期にも継続し, スランプロスが大きくなる, 打継ぎ部が不連続面となるコールドジョイントが生じやすくなる, 打込み直後の急速な乾燥や高い水和熱等により初期ひび割れが生じやすくなるといった不具合を生じる. さらに高温の影響は後期の水和反応の進行にも現れ, 硬化体組織の密実性の向上が通常期のコンクリートと比較して鈍化するため, 長期強度の増進が少なくなる, 耐久性が低下するなどの問題が生じる. しかもこれらの「わるさ」のうち, コンクリートからの水分蒸発に起因するものは, 風の影響が重なるとさらに深刻となる.

このような「わるさ」を抑制, あるいは緩和するためには, 設計, 製造, 輸送, 運搬, 打込み, 締固め, 養生といった一連の過程において適切な対策を施す必要がある. そのため従来より多くの研究がなされ, 「日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」の15節「暑中コンクリート」, および同会「暑中コンクリートの施工指針」などに, 暑中コンクリート工事における対策方法が示されている<sup>1)2)</sup>.

もちろん, 高い外気温やコンクリートの練上がり温度が高くなることにより水和反応の進行が促進され, 初期強度の発現が大きくなる, せき板の早期取り外しが可能となるなど, 温度が高いことによる利点も存在し, 上記の仕様書や指針においても, 湿潤養生期間の短縮など, 耐久性に悪影響を及ぼさない範囲で暑中の利点を積極的に反映させる方向で記述の充実もなされてきた<sup>2)</sup>.

ただし, 「暑中に発生するこのようなコンクリートの性質の変化は, いずれも, 温度が増大するに従って徐々に変化する性格のものであり, ある温度を境にして急激に変化が現れる現象ではない. また, 少なくとも我が国においては, 寒中コンクリート工事における初期凍害の

\*1 空間システム専攻修士課程

\*2 都市・建築学部門

ようにコンクリートに致命的な悪影響を及ぼすものではない<sup>2)</sup>。そのため、暑中コンクリートの適用期間や荷卸し時のコンクリート温度の上限値など、国内外の指針類を含め、定量的な根拠が必ずしも明らかになっていないため、便宜的に区切りのよい値を慣用している等の問題もいまだ残っている。実際、本年度に予定されている JASS 5 改定に先立ち実施されたアンケートでは、荷卸し時のコンクリート温度の上限値 35℃ に対して、「根拠を示してほしい」、「緩和してほしい」といった要望が寄せられた<sup>3)</sup>。

一方、近年の気候変動に伴う夏期の気温の上昇は気象データからも明らかであり、暑中コンクリート工事の適用期間の目安となる日平均気温の日別平滑年値が 25℃ を超える期間も着実に長くなる傾向にある<sup>4)</sup>。他方、セメントは普通ポルトランドセメントにおいても高強度化かつ初期強度が高くなる傾向にあり、先に述べた暑中コンクリートの特徴は長所短所ともに顕在化する方向にあると考えられる。

このような状況下で、関連する仕様書・指針類は、合理的かつ現実的な対策を明示していく必要がある。本研究はその一助となることを目的として行っているものである。本編は、そのなかで、湿潤養生を終了することのできる期間について検討を行った結果の一部を示す。

コンクリートは、セメントの水和反応により緻密な硬化体組織を形成し、構造体としての強度および耐久性を発揮する。反応初期に必要な水分が蒸発すると、その部分の水和反応が十分に進まず、またひび割れ等も発生しやすくなるため、結果としてコンクリートの品質が低下する。そのため、特に若材齢での湿潤養生は重要であり、中でもコンクリート部材に外部から積極的に給水養生を行うのが理想的である。しかし、給水養生は工程や現場設備等の理由により実際には困難であることが多く、改善の策として保水養生を行う方法が現在では一般的となっている。JASS 5 においても、給水養生の方法として散水・噴霧、また保水養生の方法として透水性の小さいせき板による被覆、養生マットまたは水密シートによる被覆などの湿潤養生の方法が記載されている。

以上の方法により湿潤養生を行う際、その期間が長いほど品質の高いコンクリートが得られる。しかし、例えばせき板の存置期間が長くなると、次の工程への移行が遅れ、全体の工期やコストに影響を与えるなどの問題がある。よって、この湿潤養生期間に関しては、両者をふまえた上で多くの研究がなされており、現在までに貴重な成果が得られている<sup>5)6)</sup>。JASS 5 においても、普通ポルトランドセメントを用いた場合、構造体の総合的耐久性を定める計画供用期間の級が一般および標準の場合は 5 日以上、長期の場合は 7 日以上にわたり、湿潤養生とすることが定められている。しかし、近年では先に

述べた気象条件や材料の急速な変化などがあるため、本研究はこの湿潤養生期間についてあらためて検討を行ったものである。

まず、**実験 I** では、実大レベルの壁試験体を用い、湿潤養生を終了することのできる期間について検討を行った。また、**実験 II** ではせき板の早期取り外しによるコンクリートの表面劣化が圧縮強度に及ぼす影響を検証するため、劣化層を設けた室内実験を行った。さらに、劣化面に直交する面を加圧面にすることができる角柱試験体による検証も現在行っているが、これらの結果については追って報告を行う予定である。

## 2. 実大レベルの壁試験体を用いた実験 (実験 I)

### 2. 1 実験概要

先に述べた目的のため、**実験 I** では実大レベルの壁試験体を用い、湿潤養生を終了することのできる期間について検討を行った。なお、本実験では湿潤養生の具体的方法として、JASS 5.8.2「湿潤養生」の a 項に示される種々の方法のうち、「透水性の小さいせき板による被覆」を

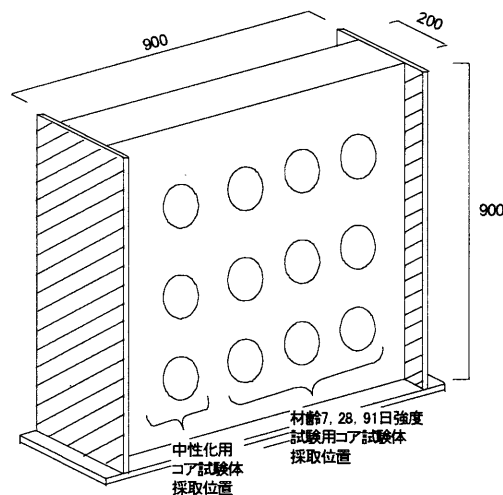


図 1 壁試験体 (せき板取り外し後, 単位は mm)

表 1 使用材料

項目	種類	物性等
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.15g/cm <sup>3</sup> ブレン値: 3350cm <sup>2</sup> /g
水	工業用水・上澄水	—
細骨材	海砂 (長崎老岐産)	表乾密度: 2.57g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	碎石 (福岡古賀産)	表乾密度: 2.75g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AE減水剤 (遅延型 I 種)	リグニンスルホン酸塩 オキシカルボン酸塩

表 2 調合

W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
50.0	47.0	366	183	798	964	0.915

表 3 実験概要

	脱型時 材齢(日)	材齢(日)								
		1	3	4	5	7	28	35	63	91
壁試験体	1	脱型	—	—	—	強度試験	強度試験・ ボロシテイ 用試験体 採取	中性化用 コア採取後 標準気中 養生	中性化 促進開始 1週、4週 で測定	強度試験
	3	—	脱型、強度試験	—	—					
	4	—	—	脱型	—					
	5	—	—	—	脱型、強度試験					
	7	—	—	—	—					
	28	—	—	—	—	—	脱型、強度試験			
φ10×h20cm 試験体	現場水中養生	材齢1日で脱型後、現場水中養生 (材齢1, 2, 3, 4, 5日で強度試験)				強度試験	強度試験	—	—	強度試験
	現場封緘養生	現場封緘養生 (材齢1, 2, 3, 4, 5日で強度試験)				強度試験	強度試験	—	—	強度試験
	標準水中養生	材齢1日で脱型後、標準水中養生 (材齢1, 2, 3, 4, 5日で強度試験)				強度試験	強度試験	—	—	強度試験

採用した。試験体の形状、寸法を図1に示す。せき板はコンクリート用塗装合板を用いた。表1および表2に、それぞれ、試験体に用いたコンクリートの材料および調合を示す。材料、調合とも福岡地域で一般的に使用されているものである。呼び強度は27、スランブは18±2.5cm、空気量は4.5±1.5%を目標値とした。なおAE減水剤は遅延形のものを使用している。練混ぜ、打込みは2007年8月21日に福岡市東区のレディーミクストコンクリート工場で行った。当日の天候は晴れ、現地で測定した気温は最高34.6℃であった。気温および湿度は打込みから材齢28日まで測定した。壁試験体の中心部の内部温度および表面温度を材齢14日まで、CC熱電対で測定した。

コンクリートは練混ぜ直後にトラックアジテータに移し、その直後、ならびに練上がり後90分まで30分おきにコンクリート温度、スランブ、空気量を測定した。温度測定は暑中コンクリートの施工指針巻末の「資料1.コンクリート温度の測定方法」<sup>2)</sup>に準じ、長さ約30cmの棒状アルコール温度計を用いた。本実験に使用した温度計はいずれも標準温度計を用い校正を行っている。練上がりから荷卸しまでの時間は30分を想定し、この間トラックアジテータを直達日射下で待機させた後、打込みを開始した。荷卸し時のコンクリート温度の目標値はJASS5.15.2の上限値である35℃に設定した。なお打込み開始後も、上記の測定を継続した。待機中のトラックアジテータのドラムは実際の輸送時に合わせて低速で回転させた。打込み直後より、単管とジョイントで作成した上屋にシート掛けし、日射や雨が直接試験体に当たるのを可能な限り防いだ。表3に示す材齢でせき板を取り外した後は気中暴露とし、散水などの養生は行わなかった。

図1に示す採取位置より材齢7および28日で全ての壁試験体からコア抜きを行った。得られたφ10×h20cmの試験体を用いて速やかに圧縮強度を測定した。試験体は各材齢、壁試験体ごとに3本ずつとし、載荷時の上下面(壁体の側面)は1mm程度の軽微な研磨仕上げを行った。

別に材齢35日で採取したコアを用いて促進中性化試験を行った。試験体は、JIS A 1153(コンクリートの促進

表 4 外気環境、コンクリート物性の経時変化

経過時間 (分)	気温 (℃)	湿度 (%)	コンクリート 温度(℃)	スランブ (cm)	空気量 (%)	備考
0	34.2	58	34.5	19.5	5.0	練上り直後
30	32.4	63	34.5	18.5	4.8	打設開始
60	32.9	64	35.3	18.0	4.7	—
90	34.6	58	36.4	17.0	4.5	打設終了

中性化試験方法)に準じて所定の養生を行い、同じくアルミテープでシールした後、材齢63日より炭酸ガスの濃度を5%に保った促進中性化試験室に曝露した。なおアルミテープは円柱形の試験体の側面をシールし、せき板に接していた面からのみ炭酸ガスが侵入できるようにした。さらに壁体表面から10mm程度までの試料を採取し、そのモルタル部分を用いて水銀圧入式ボロシメータにより細孔構造の分析を行った。これらの概要を表3にまとめている。

また、これらの管理用ならびに比較用試験体として、φ10×h20cmの円柱形試験体も作成した。作成はJASS5T-603(構造体コンクリートの強度推定のための圧縮強度試験方法)に準じた。養生方法は打込み翌日までは現場でシート掛けして静置し、以後現場水中養生、現場封緘養生および標準水中養生とした。現場水中養生における水温は後述の図2に併記している。標準養生および現場水中養生により得られた試験体は、強度管理材齢が28日の構造体コンクリートの圧縮強度の推定に使用され、強度管理の材齢が28日を超える場合は現場で封緘養生された試験体が構造体コンクリートの強度推定に用いられる。また、標準養生は、荷卸地点でのコンクリートの品質を確認するための試験体の養生としても用いられる。なお、試験体は壁、管理用とも全て同じ一台のアジテータトラックより採取して打込みを行った。

## 2. 2 実験結果の概要および考察

練上がりから輸送中の生コン温度の経時変化、スランブ、空気量の経時変化を表4に示す。スランブ、空気量ともに練混ぜ後90分まで目標値を満足した。荷卸し時として設定した練混ぜ後30分の時点で、コンクリート温度は、JASS5.15.2に規定される荷卸し時の上限値として設

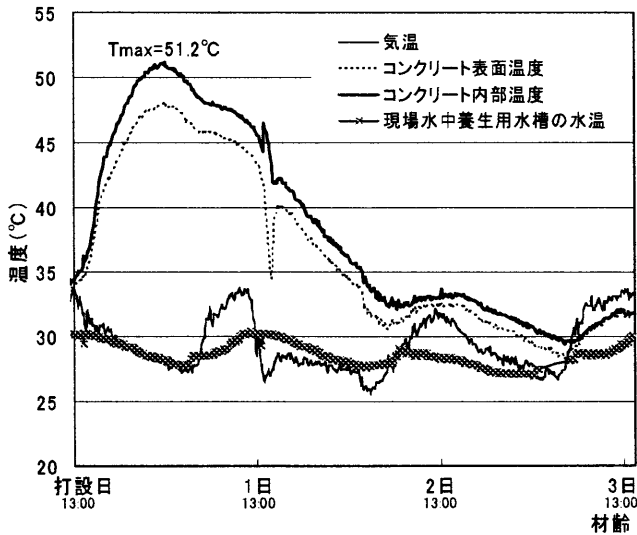


図2 壁体温度の経時変化

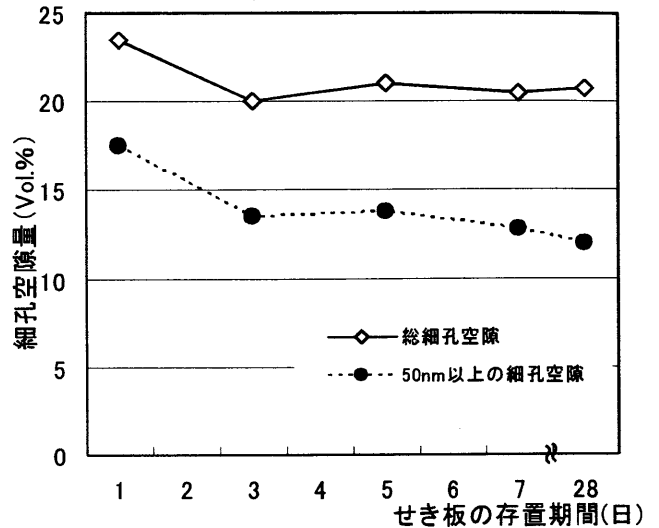


図4 壁試験体表層部の細孔空隙量

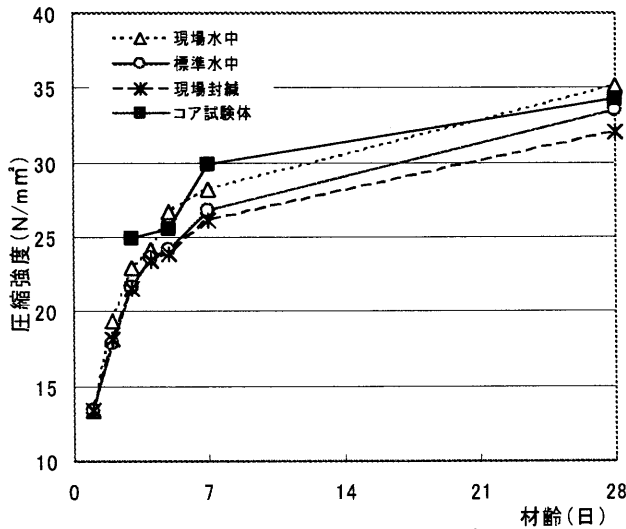


図3 φ10×h20cm 試験体の圧縮強度

定した 35°C にほぼ等しい値となった。30 分以降は打込みによりアジテータドラム内のコンクリート量が半減したため、コンクリート温度が急速に上昇し、直達日射などの影響で外気温より高い 36.4°C に達した。同様のことが建設現場での荷卸し時にも生じていると予想され、荷卸し時には可能な限り直射を遮る工夫が必要といえる。特に閉塞等のために荷卸しが中断した場合等には注意が必要である。

材齢 3 日でせき板を取り外した壁試験体の温度ならびに打込み後の気温の経時変化を図 2 に示す。コンクリート表面の最高温度は 50°C を超え、表層部と内部の最高温度の差は最大約 3°C であった。また、材齢 2 日程度でコンクリート温度は外気温と同程度になり、以後は外気温の変動に沿って推移した。

図 3 に壁試験体と同時に作成した φ10×h20cm 試験体

の圧縮強度の経時変化を示す。材齢 1 日で、JASS 5.8.2 「湿潤養生」に示される、普通ポルトランドセメントを用い計画供用期間の級が「一般」および「標準」の場合の「湿潤養生を打ち切ることが出来るコンクリートの圧縮強度」10N/mm<sup>2</sup>を大きく超えている。したがって、同項をそのまま適用したと仮定すれば材齢 1 日で湿潤養生の打ち切りが可能であることになる。また、作成した壁試験体の強度管理材齢を 28 日とすると、コア試験体の圧縮強度は現場水中養生とした強度管理用試験体の圧縮強度にほぼ等しい値となった。

図 4 に、壁体表層 10mm 程度までのポロシティの測定結果を示す。同図より、早い材齢でせき板を取り外した壁体表層ほど 50nm 以上の空隙量が多くなっており、表層が劣化していることは明らかである。

また、材齢 35 日でコア抜きした試験体を用いて促進中性化試験を行った結果を図 5 に示す。促進期間が 1 週間の場合は差が小さいが、4 週では明確に差が見られ、せき板を早期に取り外した試験体ほど中性化深さが大きく、7 日でせき板を取り外した試験体に対する 1 日でせき板を取り外した試験体の値は約 1.5 倍となっている。これはせき板の存置期間の違いによりコンクリート表層部の劣化層の厚さが異なることが原因と考えられる。

また文献 6) に倣って、法定耐用年数が 65 年となるよう、本実験の条件で屋内で 40mm の中性化となる場合に相当する値を算定すると、促進期間 4 週で約 9.7mm となる。材齢 1 日および 3 日でせき板を取り外したものがこの値より中性化が大きくなっている。せき板を取り外した際、いずれの材齢においても管理用試験体の圧縮強度が 10N/mm<sup>2</sup> を超えていたものの、暑中環境下では、外気温や日射等の影響により乾燥による表面部分の劣化が顕著であり、本実験においても、細孔量および促進中性

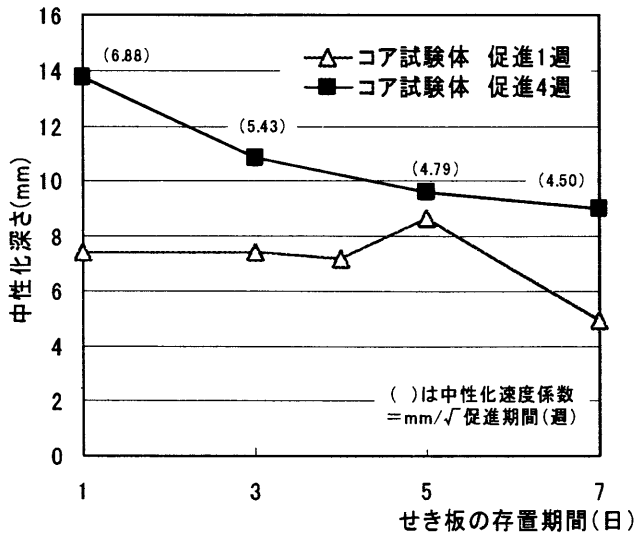


図5 コア試験体の促進中性化試験結果

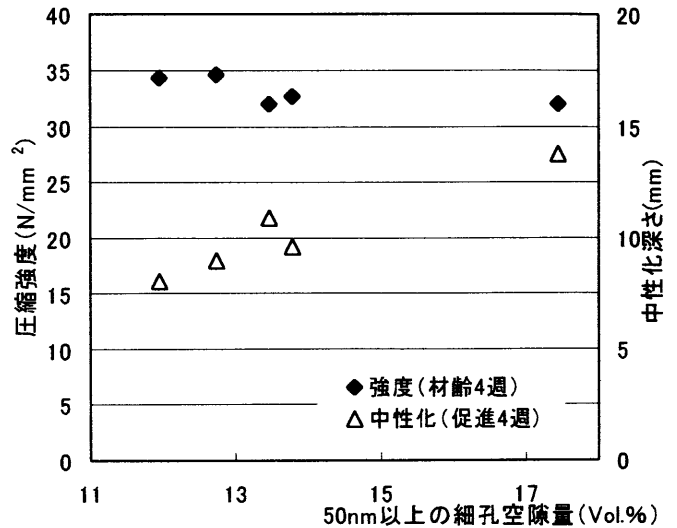


図7 壁試験体の細孔構造と圧縮強度・中性化

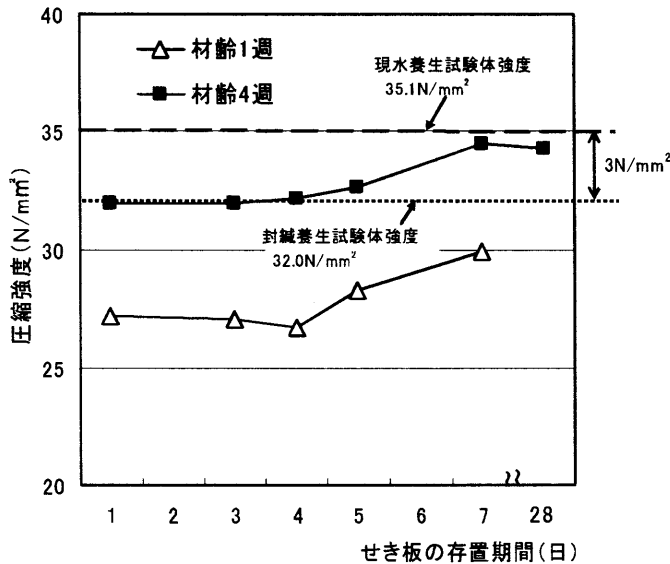


図6 コア試験体の圧縮強度

化試験の結果より、JASS 5.8.2「湿潤養生」のa項に記される湿潤養生期間より早い材齢でせき板を取り外した壁体は耐久性上問題があることが確認された。

図6に、所定の材齢でせき板を取り外し、材齢7日および28日で壁体からコア抜きしたφ10×h20cm試験体の圧縮強度を、せき板の存置期間との関係として示す。材齢7日でせき板を取り外した場合を基準にすると、これより早期にせき板を取り外した場合の強度が若干低くなっている。作成した壁試験体の強度管理材齢を28日とすると、材齢7日でせき板を取り外した試験体のコア強度は、現場水中養生とした管理用試験体の圧縮強度とほぼ同程度であった。また、材齢1日でせき板を取り外した試験体のコア強度は、現場水中養生試験体の圧縮強度よりも3N/mm<sup>2</sup>程度低いが、いずれにしても本実験の結果においては、JASS5.3.4に規定される、構造体コンクリー

トの強度と試験体の強度との差を考慮した割り増し強度△Fの値3N/mm<sup>2</sup>の範囲にそれらの強度差が収まっており、これは妥当であるという結果が得られた。ただし、細孔量が多くなるほど中性化深さは大きくなっているのに対し、圧縮強度は細孔量の多い範囲で横ばいとなっており、細孔構造の粗大化が圧縮強度の測定結果に現れにくい結果であった。

図7に、壁試験体表層から材齢28日で採取した試料における径50nm以上の細孔量と、材齢28日の圧縮強度、ならびに促進中性化試験（促進期間4週）による中性化深さの関係を示す。データ数は少ないものの、細孔量が多くなるほど中性化深さは大きくなっているのに対し、圧縮強度は細孔量の多い範囲で横ばいとなっている。とくに材齢1日でせき板を取り外した試験体は、圧縮強度と相関があるとされる50nm以上の総細孔量が他の試験体に対してかなり差があるにも関わらず、圧縮強度は存置期間3、4日のものと差がみられなかった。

細孔構造の粗大化が圧縮強度の測定結果に現れにくい理由として、以下が想定される。すなわち、せき板を取り外された壁体は、その表面から内側に向かって、乾燥による劣化層が生じることが種々の文献(7)8)からも明らかである。劣化層の強度は健全部の半分程度まで低下することが指摘されている<sup>8)</sup>。ここで実験Ⅰのように壁面に直交する方向にコア抜きされるφ10cmの円柱試験体では、その円形の面から内部にかけて劣化層が生じるが、形状の関係で、この円形の面が圧縮試験時の加圧面になる。一般に、加圧板近傍の部分では、それ以外の部分と比較すると、変形が拘束されて小さくなるため<sup>9)</sup>、劣化層の厚さや程度によっては、加圧板から離れた部分から破壊が始まり、劣化層の影響が見えにくくなることが考えられる。よって実験Ⅱではその影響を検証するため、加圧面近傍に、厚さならびに程度の異なる劣化層を

人工的に設けた円柱試験体を作成し、これを用いたモデル実験を行った。

### 3. コンクリート表面付近の劣化層の圧縮強度への影響の検討(実験Ⅱ)

#### 3.1 実験概要

先に述べたように、**実験Ⅱ**では加圧面に劣化層を人工的に設けた円柱試験体を作成し、劣化層の厚さや劣化の程度が、圧縮強度試験で得られる強度値に及ぼす影響を検討した。劣化層を有する円柱試験体の概要を図8に示す。試験体の作成手順を以下に述べる。まず、上下の劣化層に挟まれる健全部の円柱試験体を福岡市のレディーミクストコンクリート工場で作成した。試験体作成時の外気温は19.9℃、相対湿度は52%であった。試験体作成後、材齢1週において、図8および表5に示す劣化層の厚さになるように試験体の上部と下部を切断した。切断にはコンクリートカッターを用い、切断面が加圧方向に対して直交する平面になるように研磨した。切断までおよび切断後の健全部のコンクリートの養生方法は標準水中養生とした。健全部のコンクリートは、呼び強度30の普通コンクリートと、呼び強度55の高強度コンクリートの2種類とし、コンクリート強度の影響を検討した。

表6にこれらのコンクリートに使用した材料を示す。つぎに鋼製型枠を利用して、健全部の上下に劣化層を模擬したモルタル層を後付けし、所定の期間封緘養生を行った後、圧縮強度試験の直前に両面研磨仕上げとした。劣化層を模擬したモルタルの強度は、健全部の強度ごとにそれぞれ3種類とした。すなわち、高強度コンクリートの場合は健全部に対して30、50、70%、普通コンクリートの場合は50、60、70%を目標とし、健全部に対する劣化層の強度低下の割合、いいかえると劣化層の劣化程度が全体の圧縮強度に及ぼす影響を検討した。調査ならびに実際に得られた劣化層の強度を表7に、健全部の強度に対する劣化層の強度の割合を表5に示している。健全部のみのコンクリートは、劣化層を設けるコンクリートを水中から取り出すときに同時に取り出し、以

後湿布、シートで覆い、できるだけ劣化層を設ける試験体と同様の養生条件となるよう配慮した。なおいずれの試験体も各条件ごとに3本の試験体を作成し、実験に供した。

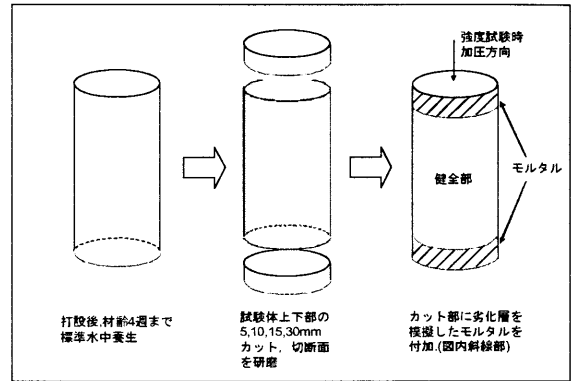


図8 劣化層を有する円柱試験体(実験Ⅱ)

表5 モデル試験体の一覧

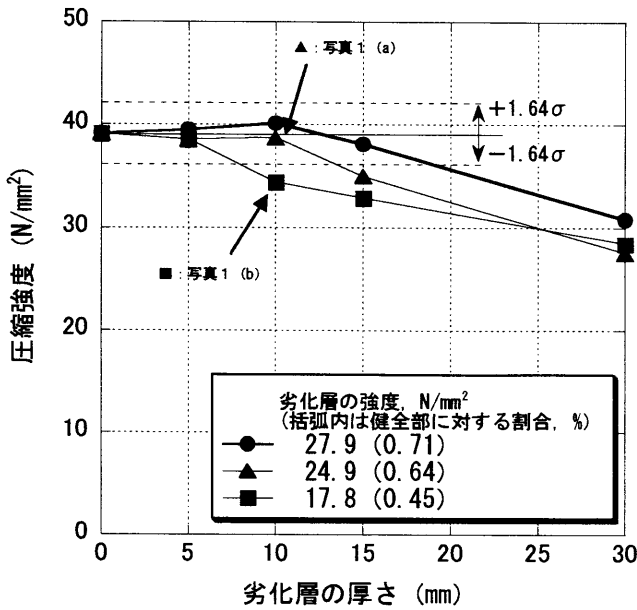
健全部記号	劣化層記号(モルタル)	健全部に対する強度比(%)	劣化層厚さ
BB	G247	71.4	上下の加圧面から 5, 10, 15, 30mm
	G283	63.7	
	G332	45.5	
HS	G0	68.3	
	G154	51.7	
	G283	29.9	

表6 使用材料

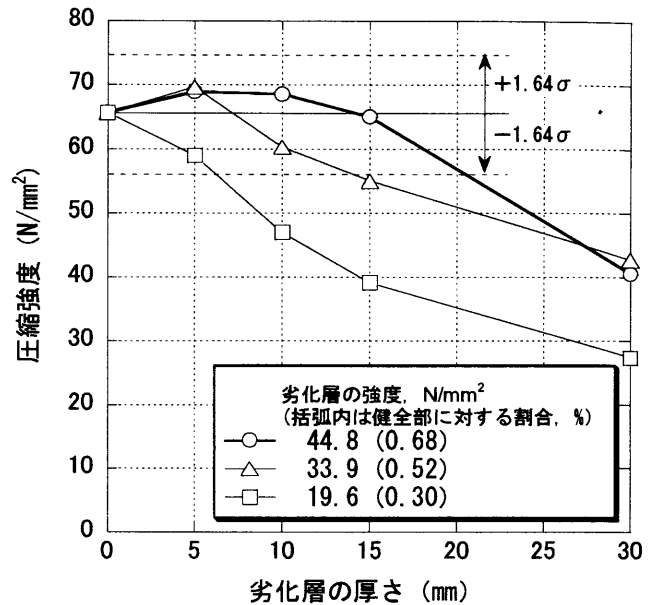
名称	記号	種類	物性等
高強度コンクリート	HS	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> ブレン値: 3270cm <sup>2</sup> /g
		工業用水	—
		海砂(玄海産)	表乾密度: 2.57g/cm <sup>3</sup>
		石灰岩(山口美弥産・大分津久見産)	表乾密度: 2.70g/cm <sup>3</sup>
高性能AE減水材(標準型I種)		ポリカルボン酸 末端スルホン酸	
普通コンクリート	BB	高炉セメントB種	密度: 3.04g/cm <sup>3</sup> ブレン値: 3900cm <sup>2</sup> /g
		AE減水材(標準型I種) その他の使用材料はHSと同じ	リグニンスルホン酸 ポリオール
模擬劣化層モルタル	G0 G154 G247 G283 G332	普通ポルトランドセメント	密度: 3.15g/cm <sup>3</sup> ブレン値: 3350cm <sup>2</sup> /g
		上水道水	—
		海砂(長崎香岐産)	表乾密度: 2.57g/cm <sup>3</sup>
		砕石粉(長崎島原産)	表乾密度: 2.75g/cm <sup>3</sup> ブレン値: 2790cm <sup>2</sup> /g

表7 調査

	記号	W/C (%)	W/P (%)	s/a (%)	水	セメント	砕石粉	細骨材	粗骨材	3日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	4日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	31日強度 (N/mm <sup>2</sup> )
健全部	BB	46.0	46.0	40.2	174	379	—	678	1058	—	—	39.1
	HS	35.3	35.3	45.3	175	496	—	745	943	—	—	65.6
模擬劣化層(モルタル)	G0	30.0	30.0	42.6	185	617	0	629	(906)コンクリート換算	44.8	—	—
	G154	40.0	30.0	41.9		463	154	611		33.9	—	—
	G247	50.0	30.0	41.5		370	247	600		—	27.9	—
	G283	55.0	30.0	41.3		336	280	596		19.6	24.9	—
	G332	65.0	30.0	41.1		285	332	590		—	17.8	—



(a) 普通コンクリート 試験体強度 39.1N/mm<sup>2</sup>



(b) 高強度コンクリート 試験体強度 65.6N/mm<sup>2</sup>

図9 劣化層が圧縮強度に及ぼす影響

### 3. 2 実験結果および考察

図9(a)に、呼び強度30の普通コンクリートにおいて、劣化層の厚さと劣化の程度が、全体の圧縮強度の強度値に及ぼす影響を示す。劣化層のないコンクリート試験体3本の圧縮強度の平均値は39.1N/mm<sup>2</sup>、標準偏差σは1.9N/mm<sup>2</sup>であった。以後、混乱を避けるため、劣化層を有する場合と健全部だけの場合の試験体全体の強度を単に「試験体の強度」と表す。また劣化層に用いたモルタルで作成したφ10×h20cm試験体の圧縮強度を「劣化層の強度」と表す。また、図9(a)、(b)それぞれに本実験の圧縮強度試験結果より得られた標準偏差σを用い、劣化層のない試験体の強度に対する±1.64σ(不良率:5.0%)の範囲を併記している。なお、載荷試験後も劣化層は健全部に付着しており、両者の間ではがれは生じていなかった。

全体の傾向として、劣化層の厚さが比較的小さい場合には、劣化層のない試験体と同程度の強度を示し、劣化層が厚くなると強度低下が現れている。劣化層の強度が小さい、すなわち劣化の程度が顕著な場合ほど、劣化層の厚さが薄くても試験体の強度が低くなっている。例えば、劣化層の厚さが5mm程度であれば、劣化層の強度が健全部の半分程度の場合でも試験体の圧縮強度は同程度となっている。劣化層の厚さが10mm程度になると、健全部に対する劣化層の強度が45%程度以下のものは、劣化層が存在しない場合よりも試験体の圧縮強度が低い値となることが図より予想される。また、劣化層の厚さが15mm程度を超えると、劣化の程度にかかわらず劣化層のない健全部に比べ試験体の強度が低下した。

同様に図9(b)に呼び強度55の高強度コンクリートにおける結果を示す。劣化層のないコンクリート試験体3本の圧縮強度の平均値は65.6N/mm<sup>2</sup>、標準偏差σは5.8N/mm<sup>2</sup>であった。劣化層の強度が健全部に対しておよそ30%程度の場合、劣化層の厚さが5mm程度で試験体の圧縮強度が低くなっている。また、劣化層の強度が50、70%程度の場合、劣化層の厚さがそれぞれ10mm、15mm程度になると試験体の強度が低くなっている。

図10は健全部の圧縮強度に対する、劣化層を設けて作成した試験体の圧縮強度の割合を示す。本実験では、健全部に強度の異なる2種類を使用したが、作成したそ

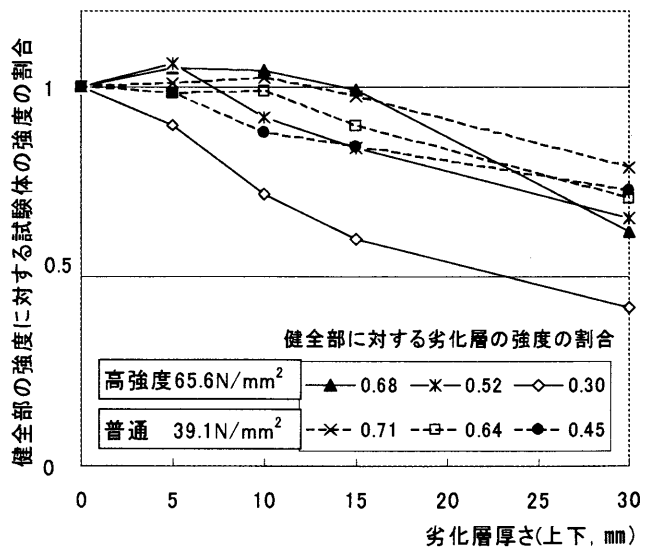
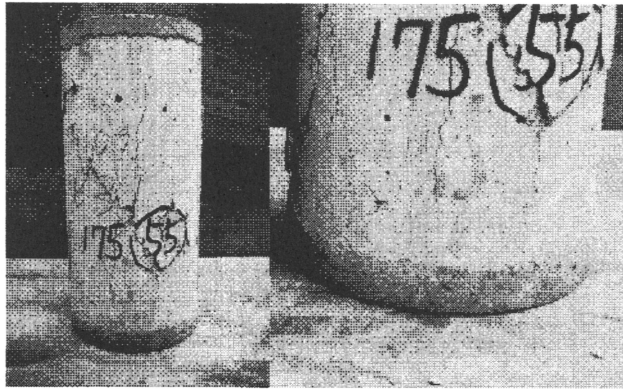


図10 健全部の強度に対する試験体強度の割合





(a) 劣化層以外で破壊が生じた例

劣化層厚さ：10mm 健全部に対する劣化層の強度比：0.64



(b) 劣化層で破壊が生じた例

劣化層厚さ：10mm 健全部に対する劣化層の強度比：0.45

写真1 圧縮破壊後の試験体の状況

それぞれの試験体の圧縮強度の低下は健全部に対する劣化層の強度比および劣化層の厚さにより決まっており、健全部の強度による試験体の強度低下の差はなかった。

写真1(a),(b)に、圧縮破壊後の試験体の状況を示す。同(a)は、劣化層が試験体の圧縮強度に影響を及ぼさなかった場合の破壊状況である。写真から明らかなように劣化層に破壊が見られない。このことから、これらの試験体では健全部から破壊が生じたため、試験体の圧縮強度は健全部のみで決まり、劣化層の影響を受けなかったものと考えられる。一方、同(b)は劣化層が試験体の圧縮強度に影響を及ぼした試験体の破壊状況である。写真から明らかなように劣化層で破壊が生じており、これらの試験体では劣化層から破壊が生じたため、健全部の強度よりも低い応力で破壊が始まり、健全部から破壊が生じた試験体より圧縮強度が低くなったものと考えられる。なお前者の場合でも劣化層で破壊が生じた試験体がしばしば見られたが、強度試験の結果から、健全部で破壊が始まった後に劣化層に達したものと推察される。

図11は本実験で作成した試験体の強度が健全部の強度に対して $1.64\sigma$ （不良率：5.0%）または $3\sigma$ （不良率：0.1%）低下した際の、健全部に対する劣化層の圧縮強度比ならびにその際の劣化層の厚さをそれぞれプロットし、それらのデータより得られた近似曲線を示したものである。健全部に対する強度低下が $3\sigma$ より大きいものを明らかに強度が低下しているとみなされる領域としている。試験体の劣化層厚さが大きく、劣化層の強度が低いほど試験体の強度は低下する。例えば、文献8)に示されるように健全部の強度に対し劣化層の強度が半分程度である場合、劣化層の厚さが15mm以上では試験体の強度は明らかに低下したとみなされるものの、10mm以下であれば明確な強度の低下と判断されない。実験Iでは、図11における「有意差がないとみなされる領域」に多くのデータが存在したため、壁表面の劣化層の影響は中性化深さや細孔空隙量には現れたものの、圧縮強度においては

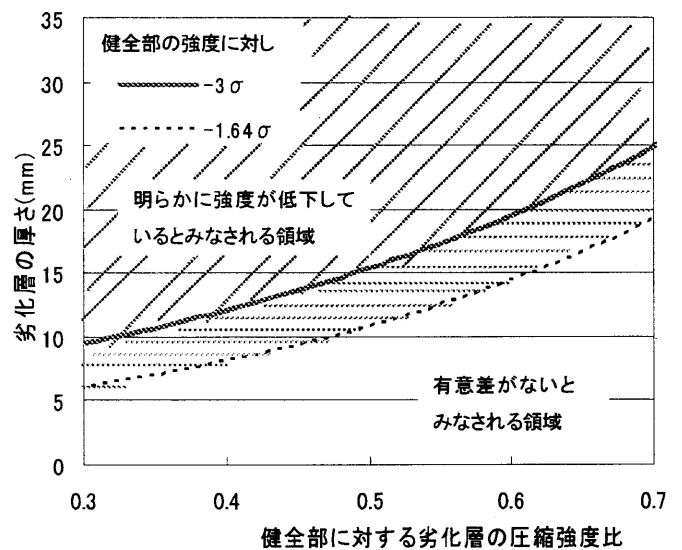


図11 本実験で得られた圧縮強度比及び劣化層厚さ

有意な差が出なかったと考えられる。

#### 4. まとめ

暑中環境下で施工されるコンクリート壁体の湿潤養生期間を、現在福岡地域で一般的に出荷されている材料ならびに調合の実機練り生コンクリートを用いた実大レベルの試験体で検証した。また、せき板の早期取り外しによるコンクリートの表面劣化が圧縮強度に及ぼす影響を検証するため、劣化層を設けた室内実験を行った。主な結果を以下にまとめる。

- (1) せき板の取り外しが早くなるほど、壁体表層部の硬化体組織はポーラスになり、中性化は早くなることから、表層部が乾燥により劣化していることが明らかであった。
- (2) コア試験体に関して、細孔量が多くなるほど中性化深さは大きくなっているのに対し、圧縮強度は細孔量の多い範囲で横ばいとなっており、細孔構造の粗

大化が圧縮強度の測定結果に現れにくい結果であった。

- (3) 試験体の劣化層の厚さが大きく、劣化層の強度が低いと、試験体の破壊は劣化層から生じるため強度は低下する。例えば、本実験において、劣化層の厚さが 5, 10, 15mm の場合、健全部に対する劣化層の強度がそれぞれ 30, 50, 70%程度で強度の有意な低下が確認された。
- (4) 健全部に対する劣化層の強度比が一定の値以上であれば、劣化層の影響は中性化深さや細孔空隙量には現れても、有意な強度低下と判断されない場合がある。

#### 〈謝辞〉

実験の実施にあたり、(株)作販コンクリート東浜工場ならびに福岡菱光(株)福岡工場の多大な協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

#### 〈参考文献〉

- 1)日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2003
- 2)暑中コンクリートの施工指針・同解説, 日本建築学会, 2000.9
- 3)日本建築学会: コンクリート技術の動向と JASS 5 改定の方角, 日本建築学会大会材料施工部門研究協議会資料, pp.59, 2006.9
- 4)松藤泰典, 小山智幸: 暑中コンクリート対策, 月刊生コンクリート, Vol.14, No.6, pp.9-17, 1995.6
- 5)笠井芳夫: 極く早期脱型するコンクリートの強度に関する実験研究(その1, 2), 日本建築学会構造系論文報告集, No.179, No.180, 1971.1,2
- 6)和泉意登志ほか, せき板の存置期間および初期養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No.449, 1993.7 など一連の研究
- 7)谷川恭雄ほか: モルタルの内部強度分布に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.38, pp.230~233, 1984
- 8)湯浅昇ほか: 構造体コンクリートの表層から内部にいたる圧縮強度分布, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.840-845, 1997
- 9)例えば, 近藤泰夫・坂静雄監修, コンクリート工学ハンドブック, pp.280, 1965

(受理:平成 20 年 6 月 5 日)