

論文 ダブルチャンバー加圧透水・透気試験機(WAPP)による表層コンクリートの施工品質の非破壊検査法に関する研究

豊福 俊泰*1・藤岡 靖*2・永松 武則*3・峰村 富夫*4

要旨: 昭和 50 年頃から高速道路橋では、コンクリート構造物で水や塩分の浸透による劣化問題が多発し、この対策として水密性(耐久性)を向上させる膨張コンクリート、防水工、保護工の採用などの対策が図られ、今日に至っている。しかし、コンクリートの水密性(耐久性)の非破壊検査法は、未だに規定されていない。そこで本報告は、水密性不足の原因が、乾燥し易い気象条件下でコンクリートを打込み単位水量が多い箇所を発生させた場合であること、この非破壊検査(品質管理)法としてダブルチャンバー加圧透水・透気試験機(WAPP)法が有効であること等を、解明したものである(本文では、加圧透気試験については省略)。

キーワード: 水, 施工品質, 耐久性, 劣化, 非破壊検査法, 加圧透水試験, 表層透水係数

1. まえがき

昭和 50 年頃から高速道路橋では、RC 床版等のコンクリート構造物で水や塩分の浸透に起因する劣化(塩害、凍害、アルカリシリカ反応、疲労・砂利化現象、すりへり等)が多発し、この問題を解決するため諸機関で移動載荷疲労試験機等により劣化の原因とその耐久性向上技術に関する研究が進められてきた。土木学会ではコンクリート標準示方書[維持管理編]が 2001 年に初めて制定され、2007 年、2013 年、2018 年に改訂が行われ今日に至っている¹⁾。しかし、RC・PC 構造物施工後の水密性(耐久性)の非破壊検査・診断法は、未だに規定されていないのが現状である。

そこで、本報告は、水の浸透による劣化の原因が、乾燥し易い気象条件下(以下、「乾燥日」と定義)でコンクリートを打込み、単位水量 W が多い箇所を発生させた場合であること、この非破壊検査(品質管理)法としてダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)法が有効であること等を、解明したものである^{2)~4)}など。

2. 気象条件と W の変動に起因する劣化部と健全部を判定する非破壊検査法の品質管理試験

2.1 WAPP 法の概要

WAPP 法は、水密性を表層透水係数 P 値($\times 10^{-10}m/s$, 写真-1)で測定する。 P 値は、水が空隙を満たして流れるとき、ダルシー則 $v = ki$ (v : 流速, k : 透水係数, i : 動水勾配)とハーゼンの実験式による $P = \varepsilon^2 k$ (ε : 空隙率)とに基づき、式(1)より求める^{2)~4)}。

$$P = \frac{G \rho w^2}{2tA^2 P_u} \times 10^{-4} \quad (1)$$

ここで、 w : 透水量 (cc, 加圧開始 3 秒後が 0 点),

G : 重力加速度 (m/s^2 , $9.80665 m/s^2$), ρ : 水の単位容積質量 (g/cm^3), t : 透水時間 (sec, 20 分), A : 内側チャンバーの断面積 (cm^2 , $\phi 5cm$), P_u : 透水水压 (kPa, 55kPa)

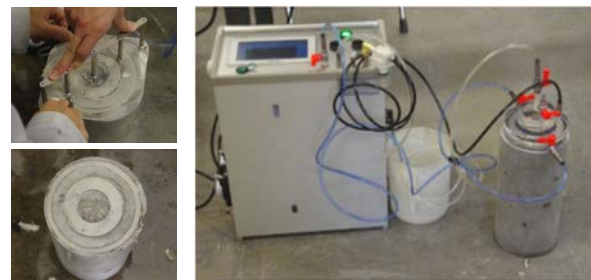
w は、コンクリート表面に特殊シール材を貼り付け後、外側チャンバー内を真空(80kPa)にしてダブルチャンバー一部を吸着させて設置し、内側チャンバー内が満水した直後に加圧(55kPa)して、水をコンクリート内に20分間浸透させることによって測定される(写真-2)。

2.2 コンクリート構造物の施工と水密性の特性

コンクリート構造物(柱部材、床部材で代表、表-1)の施工においては、コンクリートの打込み時に単位水量



(a) ダブルチャンバー部 (b) 計測部
写真-1 ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)法の試験装置⁴⁾



(a) シール材貼付け (b) 測定状況
写真-2 円柱供試体(φ15×30cm)下の測定

*1 九州産業大学名誉教授(高耐久性コンクリート構造物研究会代表)(名誉会員)

*2 西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社事業推進本部技術開発部 部長(正会員)

*3 建設コンサルタントアイラボ代表(前九州産業大学建築都市工学部都市デザイン工学科技術員)

*4 エフティーエス株式会社 執行役員技術開発部長(正会員)

表-1 供試体の種類（柱部材側面、床部材上面、床部材下面）と水密性の大小の可能性

水密性の測定面		単位水量の変動		打込みコンクリートの乾燥条件			材齢28日における表層透水係数が、大小の可能性
供試体の測定面	代表的なコンクリート構造物の測定面	レディーミクストコンクリートの単位水量の変動の影響	表面にフリーディング水の有無と単位水量との関係	コンクリートの打込み～湿潤養生開始までの外気的作用	乾燥条件	雨掛りの可能性	
柱部材側面	柱、壁、壁高欄、橋脚等の側面	単位水量が上下方向で変動	表面をフリーディング水が上昇し、上部ほど単位水量が大	型枠内への打込みであり、せき板が外気を遮断	せき板撤去直後から、乾燥日ほど乾燥	有り	富～貧配合のため中
床部材上面	橋梁床版、建物床、桁等の上面	単位水量が平面方向で変動	表面にフリーディング水が滞留し、単位水量が大(貧配合)	型枠内への打込み～湿潤養生開始まで外気が作用	打込み中から、乾燥日ほど乾燥	有り	貧配合のため大
床部材下面	橋梁床版、建物床、桁等の底面	単位水量が平面方向で変動	表面にフリーディング水なしで、単位水量が小(富配合)	型枠内への打込みであり、せき板が外気を遮断	せき板撤去直後から、乾燥日ほど乾燥	無し	富配合のため小

表-2 構造物中コンクリートの平面と上下層での品質変動とその要因⁴⁾

ケース	レディーミクストコンクリート		構造物中コンクリートの平面・上下層の品質変動要因		構造物中コンクリートの平面・上下層の品質変動			施工による品質変動		表層透水係数の大小	
	品質・配合の決定	製造	生産者が製造したコンクリートの平面でのW(骨材の表面水率)の変動による品質変動	購入者が締固めたコンクリートの上下層でのフリーディングによる品質変動	スランブ	単位水量W	単位セメント量C	水セメント比W/C	打込み時の気象条件		打込み後の養生条件
1	生産者が、コンクリートの種類に応じて荷下ろし地点における購入者の検査(強度、スランブ、空気量、塩化物量)に合格するように、配合(最大W、C、最大W/C)を定める	理想	W(表面水率)が変動なしで一定で、Cも一定に管理のため、W/Cも一定	考慮しない	一定	一定	一定	一定	考慮しない	考慮しない	規定値
2		W(表面水率)の増減に対応し、Cを増減して管理のため、W/Cが一定	考慮しない	増減	増減	増減	一定	考慮しない	考慮しない	規定値	
3	現実		W(骨材の表面水率)の減少に無対応で、Cを一定に管理のためW/Cが減少	下層にフリーディングによりセメント・骨材が沈下	減少	大きく減少	大きく増加	大きく減少	湿潤日	湿潤養生	小
4				上層にフリーディングにより水が上昇	減少	減少が低減	増加が低減	減少が低減	乾燥日	養生不足	大
5				下層にフリーディングによりセメント・骨材が沈下	増加	増加が少	減少が少	増加が少	乾燥日	養生不足	大
6				上層にフリーディングにより水が上昇	増加	大きく増加	大きく減少	大きく増加	乾燥日	養生不足	大

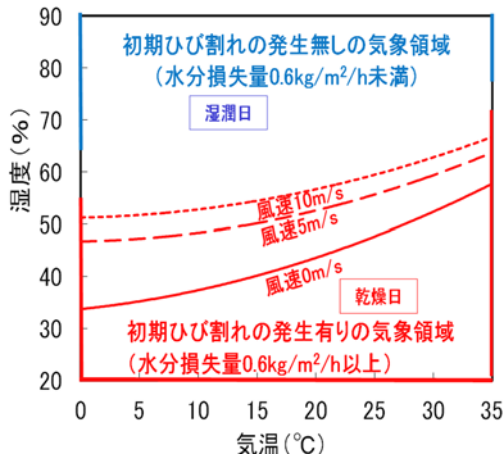


図-1 初期ひび割れ発生(洗濯日中で水分損失量増大)の気象領域⁶⁾に補筆

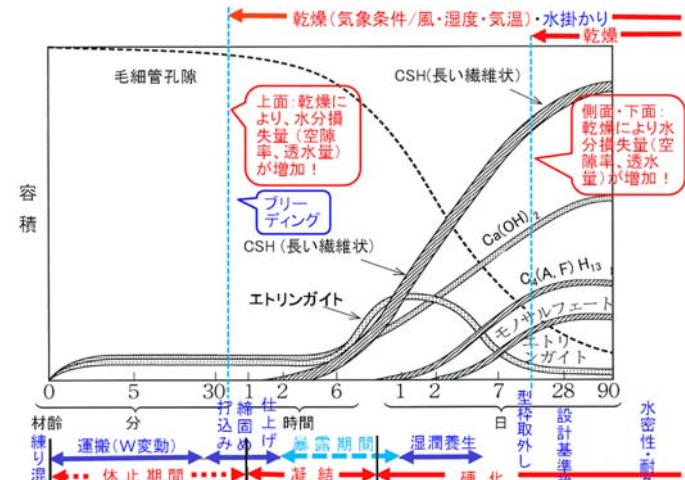


図-2 コンクリートの施工時における水和反応の進行⁷⁾に修正加筆

Wがレディーミクストコンクリートの製造・運搬における平面での変動(管理値約 $\pm 15 \text{ kg/m}^3$ 程度⁵⁾)に加えて、締固め程度の変動とフリーディングによる上下層での変動が生じるため、品質(水密性)が変動することが知られている(表-2)^{3), 4)}。このWが大の箇所では、打込み中の気象条件が最適な乾燥し難い湿潤な気象条件下(「湿潤日」と定義)ではなく乾燥日であった場合、乾燥によって水分損失量WL(kg/m², ASTM C-156の水分損失量試験)が増大するため、コンクリートの水和反応の進行に大きく影響し、空隙率・透水量が増大した箇所の発生により水密性が損なわれる(図-1⁶⁾に補筆, 図-2⁷⁾を修正加筆)。

特に、上面：打込み中、側面・下面：所要の強度に達して早期に型枠取外し¹⁾の時の気象条件の影響が多であり、初期ひび割れ発生(乾燥日でWLが増大)の危険性は、風速の影響が最大で、次に湿度、気温の順であり、表面水が乾き易くWLの増大を招く。

これらのことから、施工される現地コンクリート構造物の水密性の品質管理法を確立するためには、圧縮強度の品質管理法と同様に、施工前の配合設計法と施工後の品質検査法とを確立する必要がある。

2.3 品質管理試験の概要

品質管理試験は、配合設計時における水セメント比

表-3 配合設計時の W/C を要因とする試験 1 で製作した供試体の配合、圧縮強度 (表-2 のケース 1~2, (注))

配合番号 (W/C-W)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	セメントの種類	単体量 (kg/m ³)							コンクリートの品質		
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能 AE 減水剤	AE 減水剤	AE 剤	スランブ (cm)	空気量 (%)	材齢 28 日圧縮強度 f _c (N/mm ² , n=3)
70-165	70.0	44.6	普通セメント	165	236	838	1069	0.71	3.54	—	10.5	5.4	26.5
55-165	55.0	43.0		165	300	785	1069	—	3.90	0.00075	10.5	4.8	35.4
40-165	40.0	39.9		165	413	691	1069	3.72	—	0.00413	11.0	4.2	62.3

(注) 試験用円柱供試体は、室内で型枠内に打込み、上面をガラス板で被覆し 1 日養生後脱型し、圧縮強度試験 (φ10×20cm) の場合: 標準養生、水密性試験用 (φ15×30cm) の場合: 恒温室 (20℃, 湿度 60%) 内に横置き養生。各配合の供試体数 n=3。

表-4 施工時の気象条件・W 増減を要因とする試験 2 で製作した供試体の配合、圧縮強度 (表-2 のケース 3~6)

配合番号 (W/C-W) (注1)	配合			生コンクリートの運搬時間 (分)	フレッシュコンクリートの性質 (注2)		打込み終了時 (午前11時) の外気の気象条件 (注3)				上面: 打込み日に硬化後、側面・下面: 打込み日の翌日に脱型後以降の養生条件	コンクリートの28日圧縮強度 (N/mm ² , n=3)		
	水セメント比 W/C (%)	単位セメント量 C (kg/m ³)	単位水量 W (kg/m ³)		スランブ (cm)	空気量 (%)	天気	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)		標準養生供試体	6日間湿潤養生供試体	気中養生供試体
49-150	49.3	304	150	30	5.0	7.1 ※	晴れ	19.4	51	7.4	上面: 6日間湿潤養生・気中養生(養生無し), 側面: 5日間湿潤養生・気中養生(養生無し), 下面: 気中養生(養生無し)	45.9	48.7	27.5
54-164	53.9	304	164	30	3.6 ※	6.4 ※	晴れ	16.2	56	7.5		39.6	42.3	30.5
61-185	60.9	304	185	30	21.3	2.8 ※	晴れ	23.1	59	4.7		35.6	36.2	22.3

(注1) 福岡地区の普通 30 8 20 N のレディーミクストコンクリート (配合番号 54-164) を標準とし、単位水量 W の増減を再現。各配合の供試体数 n=1。
(注2) ※: 注文品と異なり品質変動が認められる品質。(注3) 気象庁ホーム「過去の気象データ検索」で求めた福岡市の 1 時間ごとの値。



(a) 荷卸し後、バケツ運搬



(b) 床部材の締固め



(c) 54-164 の床部材上面の表面仕上げ後の状況



(d) 床部材 (手前) と柱部材 (奥) の湿潤養生・気中養生

写真-3 供試体の製作と暴露状況

W/C を要因とする試験 1 (表-3, 表-2 のケース 1~2 に相当)⁴⁾、施工時における気象条件と W の増減を要因とする試験 2 (表-4, 表-2 のケース 3~6 に相当) で実施した。

試験 1 では、圧縮強度 f_c の配合設計と同様に、試験室内で、普通コンクリートの W/C を 3 配合変化させた材齢 28 日の φ15×30cm 円柱供試体下面で、WAPP 法による非破壊試験を実施した (写真-2)。

試験 2 は、柱部材 (鉛直部材, 横幅 50×高さ 60×厚さ 20cm) と床部材 (水平部材, 横幅 60×縦幅 50×厚さ 20cm) の打設試験とし、レディーミクストコンクリートは、呼び方普通 30 8 20 N (福岡地区, 単位セメント量 C=304kg/m³, W=164kg/m³) を中心に W 増減 (185, 150 kg/m³) の 3 配合を屋内に荷卸し (乾燥日時期の午前 9 時 30 分頃) 後、バケツで約 10m 運搬して、型枠内に打込み、棒パイプレータで締固め、表面仕上げによって供試体の打設を終了 (午前 11 時頃) した (写真-3(a)~(d))。レディーミクストコンクリートは、注文品と異なり品質変動が認められる場合であっても、納入されたままで打込んだ (表-4 の※の品質で、配合番号 54-164 は、スランブ 3.6cm の固練り品のためブリーディング水が少なく、表面仕上げが困難であった。写真-3(c))。

供試体は、翌日脱型し、養生条件 (気中養生, 6 日間湿潤養生) を変化させて製作後、雨掛かりのない室内に暴露し乾燥させ、材齢 4 週で試験した。WAPP 法による非破壊試験の試験面は、試験 1 の場合: 円柱供試体下面、試験 2 の場合: 柱部材側面, 床部材上面, 床部材下面の 3 面についてそれぞれ 2 箇所測定後に、コア (φ10×20cm) を採取し圧縮強度 (JIS A 1107) 試験を行った。

一方、WL の測定は、恒温室で温度 20℃・湿度 20% の場合、温度 20℃・湿度 60% の場合、温度 20℃・湿度 60% で風速 10m/s の場合で、室内とした。この測定時期は、ブリーディング水の水光が消えた直後を 0 点とし、1 時間後、1 日後、6 日後から 1 カ月間とした。

3. 品質管理試験結果と考察

3.1 水分損失量とコンクリート配合・気象条件との関係

図-3 は、試験 2 の結果から求めた水分損失量 WL とコンクリート配合・気象条件との関係であり、WL に影響する配合は、湿潤養生の場合、6 日間水の補給があるため (マイナス) 側となり、空気養生の場合と比べて少なく、何れの場合も W=185kg/m³ の場合が最大で、次に W=164kg/m³ の場合、W=150kg/m³ の場合で、これらの差

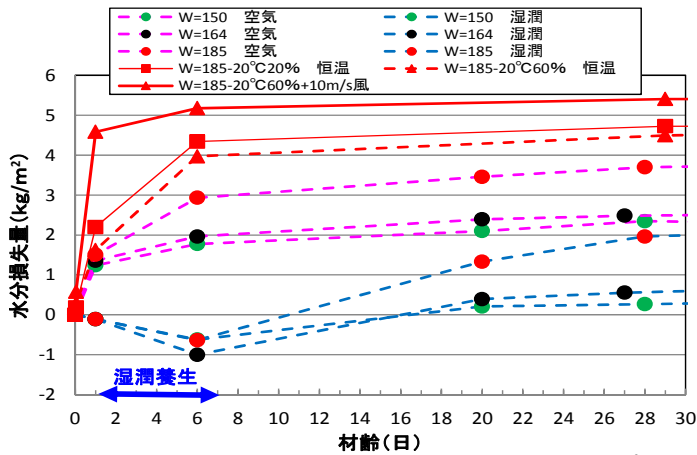


図-3 材齢と水分損失量WLとの関係 (C=304kg/m³)

表-5 P値による水密性・耐久性の判定 (NETIS QS-170036-A⁸⁾に加筆)

土木学会コンクリート標準示方書で、最大水セメント比が規定されるコンクリートの種類	最大水セメント比 W/C (%) (注1)	最大表層透水係数 P値 (×10 ⁻¹⁰ m/s) (注2)
水密性を著しく有し、水が関与する劣化が著しく生じにくいコンクリート	35 以下	0.10 以下
水密性を有し、水が関与する劣化が進行しにくいコンクリート	40 以下	0.17 以下
海洋コンクリート (一般の現場施工の場合で、環境区分が海上大気中・飛沫帯および干満帯。工場製品の場合で、環境区分が飛沫帯および干満帯)、化学的侵食抵抗性 (凍結防止剤を用いる場合)、耐凍害性 (凍結融解試験における相対動弾性係数 90%)	45 以下	0.27 以下
一般的な環境下における耐久性を満足する通常のコンクリート (柱、はり、スラブ)、海洋コンクリート (一般の現場施工の場合で、環境区分が海中。工場製品の場合で、環境区分が海上大気中・海中)、化学的侵食抵抗性 (SO ₄ として 0.2%以上の硫酸塩を含む土や水に接する場合)、一般の水中コンクリート	50 以下	0.45 以下
水密性を有するコンクリート、一般的な環境下における耐久性を満足する通常のコンクリート (橋脚)、耐凍害性 (凍結融解試験における相対動弾性係数 85%)	55 以下	0.73 以下
耐凍害性 (凍結融解試験における相対動弾性係数 70%)	60 以下	1.20 以下
耐凍害性 (凍結融解試験における相対動弾性係数 60%)	65 以下	1.97 以下
耐久性が不足するコンクリート	65 を超える	1.97 を超える
水密性が不足し、水が関与する劣化が進行しやすいコンクリート	75 以上	5.31 以上
水密性が著しく不足し、水が関与する劣化が著しく生じやすいコンクリート	85 以上	14.3 以上

(注1) 単位水量の上限 165kg/m³
 (注2) 土木学会コンクリート標準示方書の透水係数K_kの規定式 $\log K_k = 4.3W/C - 12.5$ および水密性・耐久性を満足する最大水セメント比 W/C (%) の規定値から計算

は小さいことが表されている。気象条件の影響については、温度 20°C の場合、風の影響が最大であり、次に湿度 20% の場合、湿度 60% の場合となっており、これらの傾向は図-1 もも適合している。すなわち、施工者にとって快適な気象条件である「乾燥日」は、水和反応によって凝結・硬化途中の誕生間もないコンクリートにとっては、乾きによって WL が増大する最悪の気象条件となることが確認された (図-3, 最良は乾き難い「湿潤日」)。

3.2 施工される現地コンクリート構造物の水密性の配合設計法の提案

現地コンクリート構造物の水密性の配合設計法は、試験 1 の 3 配合 (表-3, 材齢 28 日, スランプ 10±2.5cm, φ15×30cm 供試体の下面) で代表検討した (写真-2)。

P 値, f_c の測定結果から、圧縮強度 f_c の配合設計における C/W-f_c 線 (図-4) の関係と同様に、所要の強度から W/C (例えば目標強度 35N/mm² とすると W/C=57.8%) が求められる。また、P 値-f_c 線 (図-5) から、所要の強度に対する P 値 (0.61×10⁻¹⁰m/s) が求められる。一方、表-5 から水密性・耐久性を満足する最大 W/C (水密性から 55%) を求め、強度の W/C (57.8%) と比較して小

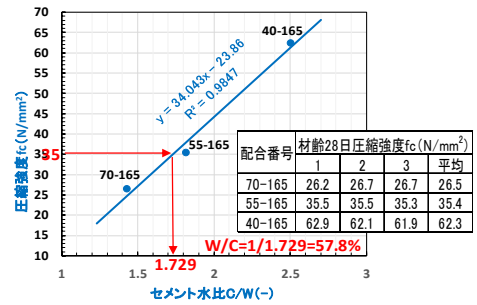


図-4 C/W と圧縮強度 f_c の関係 4)を修正

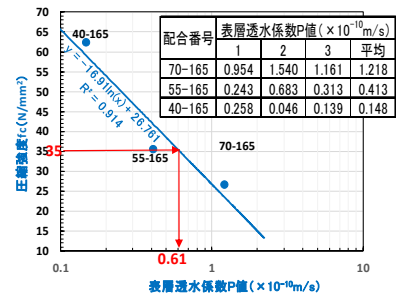


図-5 P 値と圧縮強度 f_c の関係 4)を修正

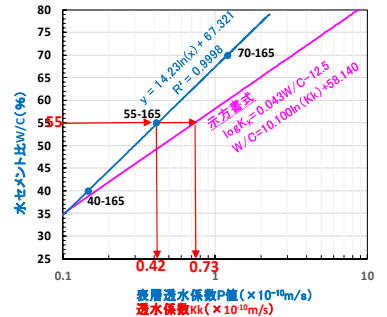
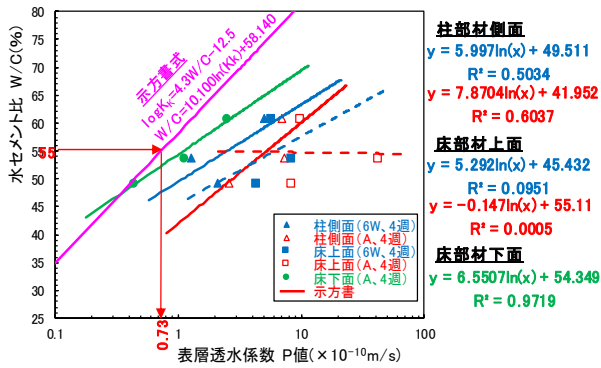


図-6 P 値・K_k と W/C の関係 4)を修正

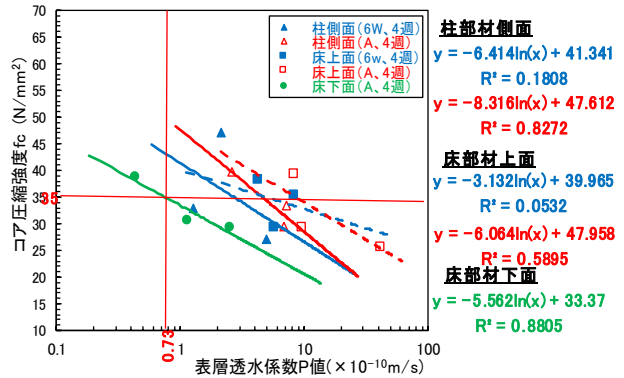
い方を所要の W/C (55%) と定める。次に、P 値・K_k-W/C 線 (図-6) から、所要の W/C=55% に対する所要の P 値は、P 値-W/C 線: 0.42×10⁻¹⁰m/s に対し、示方書の K_k-W/C 線: 0.73×10⁻¹⁰m/s を満足していることから、後者が施工された構造物の検査値として定められる。

3.3 施工された現地コンクリート構造物の水密性検査法の提案

試験 2 では、W 増減の場合 (W=185, 164, 150kg/m³ の場合) について、柱部材側面、床部材上面、床部材下面における材齢と WL・P 値との関係を求めた (図-7)。P 値は、明らかに湿潤養生の場合と比べ気中養生の場合の方が大きくなっており、型枠下面に位置しブリーディングによって富配合となる床部材下面の P 値は、小さくなっている。逆に、W=185kg/m³ の柱部材側面気中養生の場合には、他と比べ P 値が著しく大きく 5×10⁻¹⁰m/s を超える水密性不足となっている。特筆すべきは、W=164kg/m³ の床部材上面気中養生の場合で、材齢 4 週の P 値が 41.1×10⁻¹⁰m/s (図-7, f_c=25.9N/mm²) と著しく大きく水密性不足となっていることである。この原因は、上面の湿潤養生の場合の P 値が 8.2×10⁻¹⁰m/s、対応する下

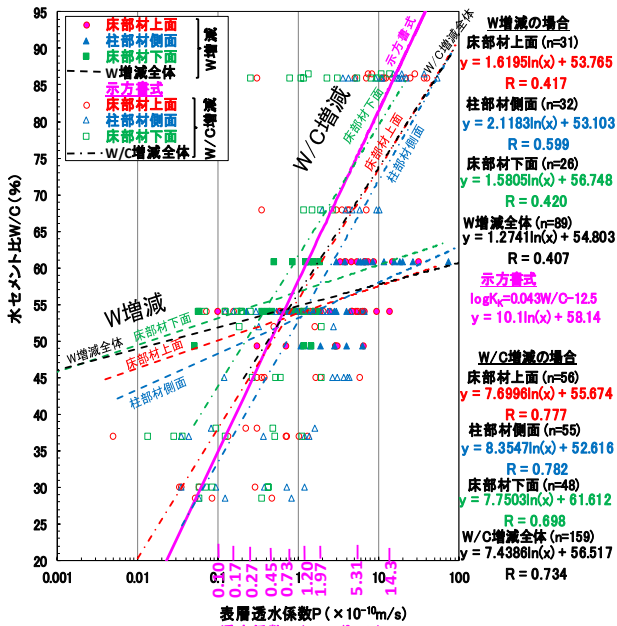


(a) P 値と W/C との関係

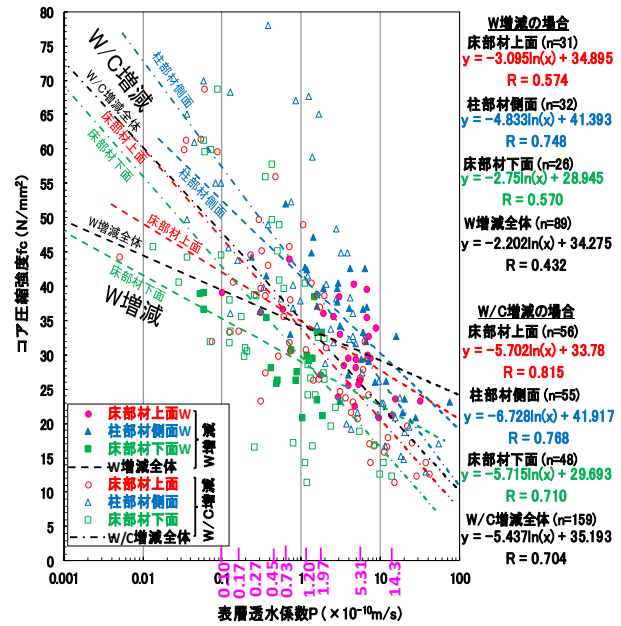


(b) P 値とコア圧縮強度との関係

図-7 P 値と W/C・コア圧縮強度との関係 (材齢 4 週, 2 箇所) の測定値の平均値)



(a) P 値と W/C



(b) P 値と fc

図-8 P 値と W/C, fc との関係 (材齢 4 週~9 年, 2 箇所) の測定値の平均値) ²⁾を修正

面の P 値が $1.12 \times 10^{-10} \text{m/s}$ であるのに対し、WL 速度 (乾燥による蒸発速度、表-4 から外気の気温 16.2°C ・湿度 56% ・風速 7.5m/s) がブリーディングの速度よりも大きいことからプラスチック収縮ひび割れが発生したためと考察される。

3.2 で配合設計例とした P 値の検査値 $0.73 \times 10^{-10} \text{m/s}$ に対しては、配合番号 49-150 の床部材下面以外は不適合となっており、所要の強度を満足しても水密性が不足する事例が多数あることが示されている。この対策としては、打込み時期：図-1 から乾燥日の時を避ける、配合：高性能 AE 減水剤 (W の低減)・膨張材・収縮低減材の使用、上面：高性能膜養生材の使用⁹⁾、側面・下面：型枠撤去時期の延期等施工法の改良を図り、水密性の配合設計もこれと同一の条件で実施する必要がある。

4. RC・PC 構造物の施工品質の非破壊検査法の検討

P 値の測定精度、再現性は、配合・養生・暴露条件、

材齢等を変化させた各種の性能確認試験 (データ数 248, 試験 2 の材齢 4 週その他 7 週, 1 年を含む)²⁾などで確認されている。これから、P 値と W/C との関係 (図-8(a)), P 値とコア圧縮強度との関係 (図-8(b))²⁾を修正を部材別に求めると、床部材上面・柱部材側面では、WL の増大に影響する水密性 (透水係数, P 値, 空隙率) の変動が大きく、コア圧縮強度が変動する原因ともなっている。

P 値と W/C との関係は全体的には W/C が大きいほど P 値が大きくなるが、同一の W/C であっても W 増減の場合など測定場所によって P 値の変動が大きくなっている。P 値が W/C=75% に相当する $5.31 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 程度の場合、表面に潜在ひび割れが確認されており、このように表層の透水係数が大きい箇所は、写真-4 に示すように水が浸透したと推察される箇所では著しい劣化が進行している。打込み中に外気に曝される同図(a)の道路橋 RC 床版の事例をみると、この原因は、「生産者が製造したコンクリートの平面での W (骨材の表面水率) の変動による品質



(a) RC 床版上面 (和歌山)



(c) 壁高欄 (神奈川)



(b) RC 床版下面 (福岡)



(d) 橋脚側面 (沖縄)

写真-4 コンクリート構造物の水浸透による劣化

変動」と「購入者が締固めたコンクリートの上下層でのブリーディングによる品質変動」とによる「構造物中コンクリートの平面・上下層の品質(W, C)変動」に加え、「打込み時の気象条件(乾き易い乾燥日か、乾き難い湿潤日)」と「打込み後の養生条件(養生不足か、十分な湿潤養生)」から「施工による品質変動」が、表層透水係数 P 値が大となる条件下(表-2 のケース 6 の場合)となったため⁴⁾と考えられる。また、同図(b)~(d)の劣化部のように、施工時に水密性が確保されなかった箇所では、その後の「水の浸透」により劣化が進行したものと判断されるが、逆に、施工時に P 値が小となる条件下(表-2 のケース 3 の場合)となった箇所は水密性が確保され、経年によって気象条件(乾燥)の作用を受けても P 値が小さく健全性が確保されている。

以上のことから、施工される現地コンクリート構造物の水密性の品質管理法としては、まず、表-6 に示すように試験用供試体を作成して P 値の非破壊試験後、圧縮強度試験を実施(材齢 28 日)する。この結果から、3.2 で前述のように所要の水密性から P 値の検査値を定める。次に、施工される現地構造物の水密性の検査は、この P 値の検査値に適合するかの非破壊検査を実施(材齢 28 日)することによって、コンクリート構造物の水密性(耐久性)の品質管理を行う方法が実現する。

4. まとめ

本研究の結果、以下のことが判明した。

- (1) 表層コンクリートの水密性(耐久性)不足による劣化問題が発生した最大原因は、「乾燥し易い気象条件下(乾燥日)で打込み・締固め、Wが多い箇所を発生させ、養生が不足した」および「強度発現を優先し、早期に型枠を撤去した」ことで、WLが増大する施工を行ったためである。この場合、表層部では、乾燥による空隙率の増大と初期ひび割れの発生とに起因して、P値が増大することが解明された。

表-6 コンクリートの表層透水係数試験用供試体の作り方⁴⁾

項目	内容
配合	圧縮強度試験練り用の「①W(所要のスランプ)一定とし、Cを増減」と「②①の中央のC一定とし、Wを増減」との5配合
供試体の寸法	φ15×30cm
打込み	高さ30cmを1層として詰める
締固め	棒状パイプレータを用いる
上面仕上げ	こてを用いる(アンボンドキャピング)
養生	硬化後から5日間湿潤養生したのちに、屋内(恒温恒湿室が望ましい)で横置き静置する
型枠を取り外す時期	打込みの1日後
P値の測定面	上面、下面

- (2) 施工されたRC・PC構造物の施工品質の非破壊検査法として、WAPP法は、P値の大小から表層コンクリートの劣化部と健全部とを定量的に検査可能であり、水密性の品質管理が実用されることが確認された。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、九州工業大学日比野誠准教授、中日本ハイウエイ・エンジニアリング名古屋株式会社橋吉宏氏、麻生セメン株式会社前田禎夫氏よりご教示を賜りました。ここにご厚情を深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2017・2018年制定コンクリート標準示方書[設計編]・[施工編]・[維持管理編]，2018.3，2018.10
- 2) 豊福俊泰，永松武則，峰村富夫，添田政司：ダブルチャンバー式加圧透水試験機による表層コンクリートの水密性と耐久性の非破壊検査法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，[1281]，pp.1719-1724，2018.7
- 3) 豊福俊泰，藤岡靖，緒方辰男：高速道路における橋梁RC床版の水による疲労・劣化の原因とその非破壊検査法に関する研究，土木学会第10回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.123-128，2018.11
- 4) 豊福俊泰，峰村富夫，藤原貴央：ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機(WAPP)による表層コンクリートの水密性の品質管理法に関する研究，日本非破壊検査協会，平成30年秋季講演大会講演概要集，pp.71-74，2019.11
- 5) 国土交通省：レディーミクストコンクリート単位水量測定要領(案)，2004.3
- 6) 豊福俊泰，潮先正博：コンクリート構造物の初期ひび割れの発生予測とこれに対応した膜養生剤の開発，コンクリート工学，Vol.44，No.4，pp.33-42，2006.4
- 7) 小林一輔：最新コンクリート工学(第5版)，森北出版株式会社，pp.13，2002.4
- 8) ユニセンス株式会社，エフティーエス株式会社：ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機「W.A.P.P.」，国土交通省，NETIS 新技術情報提供システム，登録番号 QS-170036-A，2018.1