

## 非破壊・微破壊試験によるコンクリートの耐久性評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村 嘉富、渡辺 博志、  
古賀 裕久

### 【要旨】

実際の構造物を用いた臨床研究や実験室での測定等により、非破壊・微破壊試験の適用性を検討した。コンクリートの透気試験を実橋床版に対して適用した結果、透気係数の大小と中性化の程度に関係が認められ、強度試験だけではわかりにくい耐久性の良否を評価できる可能性があった。一方、室内試験の結果からは、品質が一定程度以上良好なコンクリートについては、透気係数に差異が生じにくいことがわかった。透気係数は、コンクリートの含水率で大きく変化するが、湿度 75～60%の範囲で調整すると同程度の値が得られた。このほか、アルカリシリカ反応による劣化程度を評価する手法としての弾性波伝播速度の適用性についても検討した。

キーワード：非破壊試験、コンクリート、超音波法、弾性波伝播速度、透気試験

### 1. はじめに

既設コンクリート構造物を適切に維持管理するためには、構造物中のコンクリートの品質等を点検時に適切に評価することが重要と考えられる。しかし、まだ顕著な被害が生じていない構造物の点検において、コア試料を採取して調査を行うことは、かえって耐久性上の弱点を生じさせるおそれもあるので注意が必要である。

一方、構造物中のコンクリート等の品質を、非破壊で、あるいはわずかに傷つける程度の微破壊で把握する方法として、種々の方法が提案されている。しかし、測定の精度や実構造物への適用性については必ずしも明確でない場合が多い。

そこで、実際の構造物を用いた試験（臨床研究）や実験室での測定等により、非破壊・微破壊試験の適用性を検討することにした。この研究課題では、(1)非破壊・微破壊試験を用いたコンクリートの力学的性質評価手法の提案、および(2)非破壊・微破壊試験を用いたコンクリートの鋼材保護性能評価手法の提案を達成目標とした。

しかし、非破壊・微破壊試験には多くの提案があるので、達成目標の(1)に関しては、アルカリシリカ反応（以下、ASR）によって劣化した部材の劣化程度を評価する手法として弾性伝播速度について検討した。また、(2)については、コンクリートの緻密さを評価できる方法として透気試験について検討した。

### 2. 主な検討項目

#### 2. 1 超音波を用いた ASR 劣化部材の評価

##### 2. 1. 1 ASR 劣化部材の評価における課題

ASR は、コンクリート構造物の主要な劣化原因の一つで、コンクリート中の高いアルカリ性環境下において、骨材中の反応性を有する鉱物等から ASR ゲルを生じ、その ASR ゲルの吸水膨張によってコンクリートにひび割れが生じるものである。

ASR による劣化では、一般に、ひび割れが規則性のない網目状のものとなる場合が多いこと、ひび割れから白色の析出物が見られる場合が多いことなどが特徴として知られている。しかし、ひび割れなどの外観的特徴から ASR かどうかを判定することには経験を要することから、必ずしも容易ではない。また、採取したコア試料を用いて試験を行う方法には高価な方法が多い。

外観的特徴から ASR による劣化と判断できる場合でも、劣化程度の評価には困難な点が残る。これまでの研究から、鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋が ASR によるコンクリートの膨張を拘束するため、外観上ひび割れが顕著な部材でも、鉄筋で囲まれた内部では劣化の影響がわずかで、耐荷性状にほとんど影響がない場合もあることが知られている。しかし、ASR 劣化の影響が及んでいる部位について確認する方法は確立されていない。

このように、ASR により劣化した、または劣化したおそれのある部材の評価には困難な点がある。

## 2. 1. 2 ASR による劣化と弾性波伝播速度

一方、ASR により劣化したコンクリートでは、超音波などの弾性波が内部を伝播する速度が低下することが知られている。例えば、コンクリートの生産工程管理用試験方法として定められている迅速法（JIS A 1804）では、促進養生したモルタル供試体の ASR による膨張の有無を判定する際に、長さ変化を測定する方法に変えて、超音波の伝播速度を測定し、これを指標として判定する方法が示されている。

## 2. 1. 3 本研究で実施した内容

ASR により劣化したコンクリートでは弾性波の伝播速度が低下することが知られており、この性質を利用して実構造物の ASR 劣化の有無や劣化範囲を評価できないか検討した。まずは、土木研究所が所有する供試体を用いて、長さ変化と弾性波伝播速度の低下の関係について検討した。

次に、撤去される構造物中で、ASR により劣化した橋脚の一部を対象に超音波を用いた測定の適用性を検討した。

## 2. 2 透気試験によるコンクリート品質の評価

### 2. 2. 1 実構造物のコンクリート品質評価における課題

コンクリートの品質管理・検査項目としては、従来からスランプなどの施工時の試験に加え、標準養生供試体を用いた圧縮強度試験が行われてきた。また、近年、施工の良否の影響について考慮するため、種々の非破壊試験による圧縮強度推定が導入された。

一般に、強度の高いコンクリートほど組織が緻密で、中性化や塩害に対する抵抗性も高いと考えられる。しかし、強度と耐久性の関係は使用材料等によっても影響を受けると考えられ、強度の高いものほど優れているとも言いきれない。コンクリートの耐久性については、現状では強度で代用しているものの、評価指標が定まっていないのが現状である。

### 2. 2. 2 透気試験

一方、近年、コンクリートの緻密さを評価できる指標として注目されている試験方法に透気試験がある。透気試験の結果は、コンクリートの中性化に対する抵抗性などと関係があるとの報告がある（例えば、文献 1)）。しかし、透気試験の現場適用性については必ずしも明確ではなかった。

### 2. 2. 3 本研究で実施した内容

国土交通省が撤去を予定する橋梁でコンクリート品質について調査する機会を得たので、透気試験を含む試験を行って、その結果を検討した。

表-1 JIS A 1804 における ASR 判定基準

測定方法	アルカリシリカ反応性について「無害」と判定する基準の値
弾性波伝播速度	養生前からの低下が 5%以下
動弾性係数	養生前からの低下が 15%以下
長さ変化	長さ変化が 0.10%未満

※本検討の理解に資するように表にしたもので、JIS における記述とは表現が異なる。

また、実構造物を対象とした現場透気試験は、測定対象のコンクリートの含水率の影響を受けることが知られている。含水率に応じた測定結果の評価方法等が示されているが、その妥当性については十分には明確でなく、室内実験を行うなどして検討した。

## 3. 超音波を用いた ASR 劣化部材の評価に関する検討

### 3. 1 膨張量と弾性波伝播速度の関係に関する検討<sup>2)</sup>

#### 3. 1. 1 検討目的

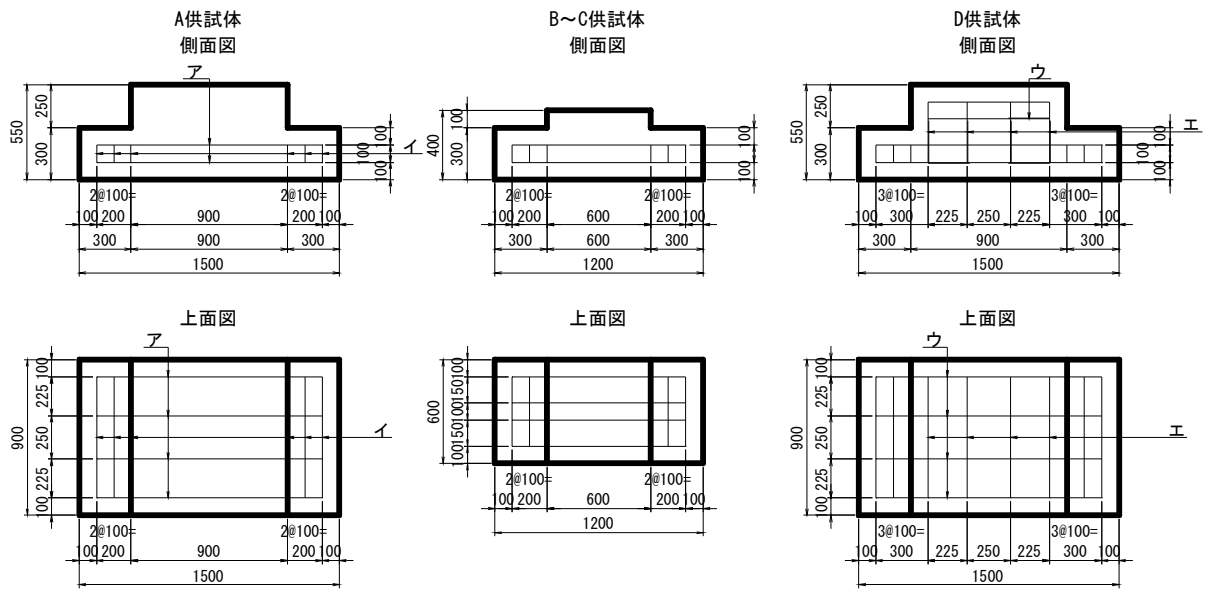
コンクリートに ASR による膨張が生じると弾性波伝播速度が低下することが知られている。例えば、JIS A 1804: コンクリート生産工程管理用試験方法—骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（迅速法）では、促進養生したモルタル供試体の反応程度について、長さ変化、弾性波伝播速度、動弾性係数のいずれかの方法で確認すればよいことになっている（表-1）。この判定基準は、迅速法の静定時の検討において、多数の骨材を用いた実験結果から定められたものである。

しかし、長さ変化が 0.1%以上になった場合など、ASR による劣化がより進展した場合の弾性波伝播速度の推移については必ずしも明確ではなかった。土木研究所には、別の検討目的のために作製し、ASR を生じさせた供試体があったので、これを用いて膨張量と弾性波伝播速度の関係について確認した。

#### 3. 1. 2 実験方法

##### (1) 供試体の形状・寸法

この検討で用いた供試体には、大型供試体と角柱供試体がある。大型供試体の形状寸法を図-1、諸元を表-2 に示す。大型供試体の形状は、本研究とは別の目的（引抜き試験）によって定められたものであり、コンクリートの ASR による劣化の程度等が異なる供試体を比較する目的で条件の異なる 4 体がある。このうち、C 供試体は、ASR による劣化がない健全な供試体である。また、D 供試体は、鉄筋によって ASR による膨張が拘束された状況をつくりだすために、供試体上面付近に鉄筋（ウ～エ）を配置し



単位：mm

図-1 大型供試体の形状（太線：供試体の外形、細線：鉄筋）

表-2 大型供試体の諸元

供試体種別	コンクリート種類	鉄筋配置			
		ア	イ	ウ	エ
A	反応性	D19	D16	-	-
B		D16		-	-
C	非反応性				
D	反応性	D19		D16	D16

表-3 コンクリートの配合

コンクリート種類	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	NaOH (kg/m <sup>3</sup> )	骨材比率 反応：非反応
反応性	55	165	46.0	9.29	50:50
非反応性					0:100

たものである。それ以外の供試体にも配置されている鉄筋（ア～イ）は、運搬時に供試体が破壊しないように配置したものである。

角柱供試体は、大型供試体の製作時に3本ずつ作成した供試体で、その寸法は100×100×400mmである。なお、供試体A、B、Dの供試体に用いたコンクリートは同一のもので、練混ぜバッチによる品質の差もないと考えられることから、本報では、これら9本の角柱供試体をまとめて「ASR」供試体と表わし、供試体Cと同時に作成した「健全」供試体3本と比較した。

### (2) 供試体の作製

コンクリートの配合を表-3に示す。配合は、基本的に同じであるが、「反応性」コンクリートでは、

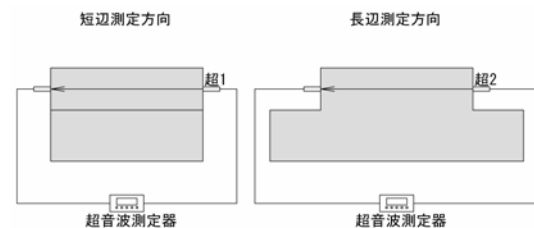


図-2 超音波伝播速度の測定位置（大型供試体）

細骨材および粗骨材に反応性の骨材を混合して使用した。大型および角柱供試体は、打設後28日まで湿潤養生を行い、その後、日射や降雨を遮るものがない屋外（土木研究所構内）に暴露した。

### (3) 測定方法

屋外暴露の開始直後から、1ヶ月ごとにコンクリートの寸法変化を測定した。角柱供試体は、JIS A 1129にしたがって長さ変化を測定した。大型供試体は、供試体上面に測定用チップを貼り付け、コンタクトゲージを用いて、100mm標点間の長さ変化を測定した。

また、暴露後1ヶ月から、超音波法により弾性波伝播速度を測定した。角柱供試体に対しては、動弾性係数の測定も行った。暴露後1ヶ月の時点ではコンクリートの膨脹がほとんど見られなかったため、このときの測定結果を初期値として、以降の検討を行った。超音波伝播速度の測定位置を図-2に示す。超音波は、探触子直径が20mmで共振周波数が28kHzのものを使用し、透過法により測定した。

表-4 圧縮強度・静弾性係数試験結果

コンクリート種類	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		静弾性係数 (k/mm <sup>2</sup> )		初期接線弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )		初期接線弾性係数 / 静弾性係数	
	暴露直前	暴露後 210 日	暴露直前	暴露後 210 日	暴露直前	暴露後 210 日	暴露直前	暴露後 210 日
反応性	24.8	28.9	31.0	14.9	34.9	15.8	1.13	1.05
非反応性	19.4	31.1	30.1	24.9	33.4	26.2	1.11	1.05

※反応性は、A,B,D 供試体と同時に作製した円柱供試体 9 本の平均値。非反応性は、C 供試体と同時に作製した 3 本の平均値である。

角柱供試体の測定は、前日に供試体を気温 20℃の室内に移動させ、温度を安定させて行った。大型供試体は、移動が困難なので、暴露場所で測定した。

### 3. 1. 3 供試体の ASR による品質の変化

#### (1) 膨張量

暴露期間中の角柱供試体の膨張量を図-3 に、大型供試体の膨張量を図-4 に示す。非反応性の骨材を用いた場合以外では、いずれの供試体でも、暴露後 120 日までに膨張量が大きく増加し、その後は落ちつく結果であった。大型供試体の短辺方向に関しては、A,B 供試体に比べ、D 供試体の膨張量が小さいが、これは、図-1 に示すように短辺方向に膨張を拘束する鉄筋があるためと考えられる。また、大型供試体の長辺方向の膨張量は、A,B,D 供試体とも同等で、短辺方向よりも小さくなる傾向があった。長辺方向の膨張を底面に配置した鉄筋が拘束した影響が考えられる。

#### (2) 圧縮強度・静弾性係数

コンクリート打設時に作製し、角柱供試体等と同様に養生、暴露した円柱供試体の圧縮強度・静弾性係数試験結果を表-4 に示す。圧縮強度は、反応性および非反応性のもの大きな差はなく、ASR による劣化が生じているコンクリートでも、強度の増進が認められた。

次に、静弾性係数を求めた結果に着目すると、暴露直前（材齢 28 日）では、コンクリートの種類による違いがわずかであった。しかし、暴露後 210 日では、いずれの供試体でも低下し、特に ASR 供試体では静弾性係数が暴露直前の 50%以下となった。健全供試体でも静弾性係数の低下が見られるが、その原因は明確ではない。この供試体では、非反応性と見られる骨材を用いたが、角柱供試体の測定結果からは、若干の膨張があるようにも見受けられ、ASR の影響を受けているおそれもある。

なお、暴露後 210 日の ASR 供試体の結果は、静弾性係数の低下が著しいとともに、圧縮応力がピークとなる時点まで直線性が強い特徴が認められた。初

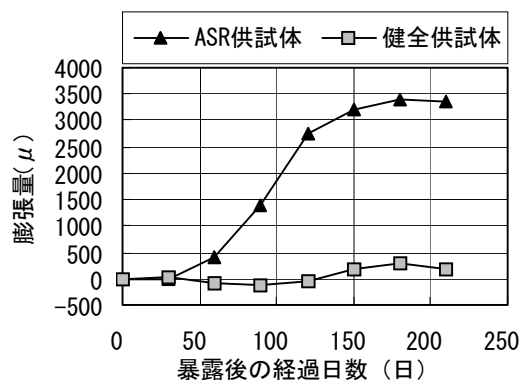


図-3 角柱供試体の膨張量

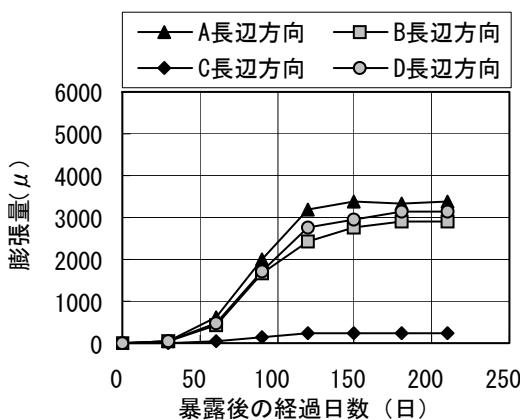
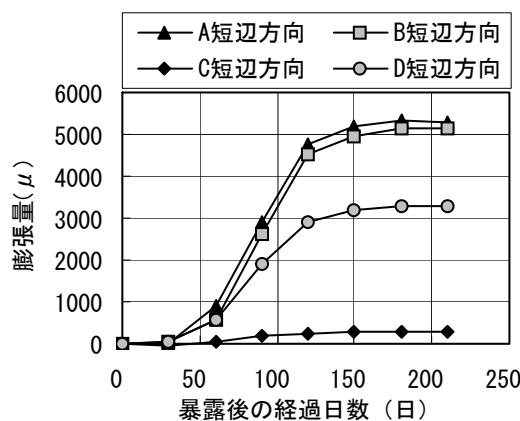


図-4 大型供試体の膨張量

期接線弾性係数は、静弾性係数の 1.05 倍で、静弾性係数の値に近くなった。

### 3. 1. 4 非破壊試験結果

#### (1) 角柱供試体

図-5 に長さ変化率と相対動弾性係数（暴露前を基準としたときの暴露後の動弾性係数）の関係を、図-6 に長さ変化率と超音波伝播速度率（暴露前を基準としたときの暴露後の弾性波伝播速度）の関係を示す。動弾性係数は、長さ変化率が0.28%程度になるまで急速に低下し、測定開始時の約50%となった。その後若干の長さ変化があったが、相対動弾性係数には大きな変動はなかった。超音波伝播速度率は、長さ変化率が0.14%程度で90%まで低下した。しかし、その後の長さ変化に伴う変化は明確ではなかった。ここで、図-7 に相対動弾性係数と伝播速度率の関係を示す。相対動弾性係数が低下するほど、伝播速度も低下する傾向があった。

ASRによる長さ変化と、動弾性係数、弾性波伝播速度の関係について表-1 に示した迅速法の判定基準と比較して考察する。

まず、長さ変化と動弾性係数の関係を見ると、長さ変化率が0.04%を示した時点で、相対動弾性係数は82%まで低下しており（図-5）、今回の供試体では膨脹に伴う動弾性係数の低下が顕著であった。

次に、長さ変化と弾性波伝播速度の関係を見ると、長さ変化率が0.04%を示した時点で、超音波伝播速度率が94%まで低下しており（図-6）、今回の供試体では膨脹に伴う超音波伝播速度率の低下が顕著であった。

最後に、動弾性係数と弾性波伝播速度の関係を見ると、相対動弾性係数が85%の時の超音波伝播速度率が約95%と推定された（図-7）。すなわち、相対動弾性係数の低下と超音波伝播速度の低下の関係は、今回の供試体の試験結果でも、迅速法の評価基準と同等となった。

#### (2) 大型供試体

大型供試体は、膨張量を凸部上面に貼り付けたコンタクトチップで測定を行った。大型供試体における長さ変化率と超音波伝播速度率の関係を図-8 に示す。大型供試体の結果も角柱供試体の結果と同様に長さ変化率が0.1%に達する以前に超音波伝播速度率が95%を大きく下回っており、角柱供試体と同様、迅速法の評価手法と比較すると、長さ変化率に対する伝播速度率の低下が顕著であった。なお、0.3%程度までの長さ変化率と超音波伝播速度率の関係は、A 供試体の短辺方向と長辺方向、A 供試体とD 供試体で顕著な違いはなかった。このことから、

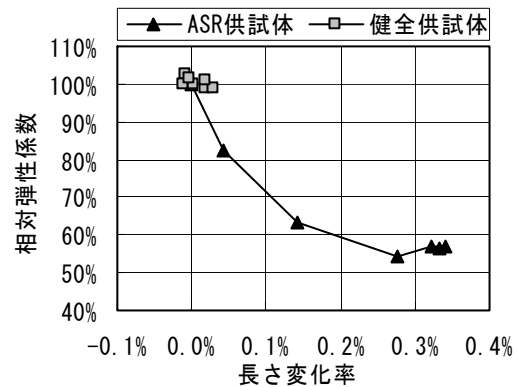


図-5 長さ変化率と相対動弾性係数の関係

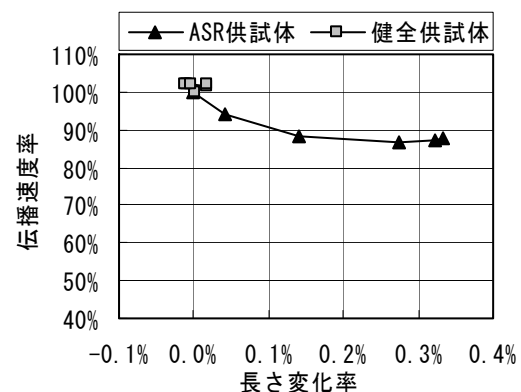
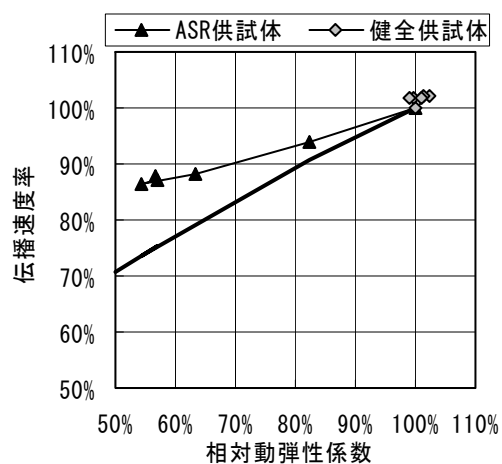


図-6 長さ変化率と超音波伝播速度率の関係



※太線は、弾性波伝播速度と動弾性係数の理論的な関係（弾性波伝播速度は動弾性係数の1/2乗に比例）を示す。

図-7 相対動弾性係数と超音波伝播速度率の関係

長さ変化率が0.3%程度以下では、超音波伝播速度率との関係に及ぼす鉄筋量の影響は顕著でないといえる。

#### (3) 角柱供試体、大型供試体の比較

同一の観察日における角柱供試体の超音波伝播速

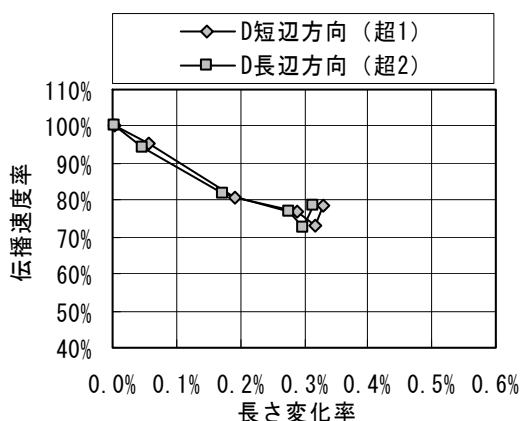
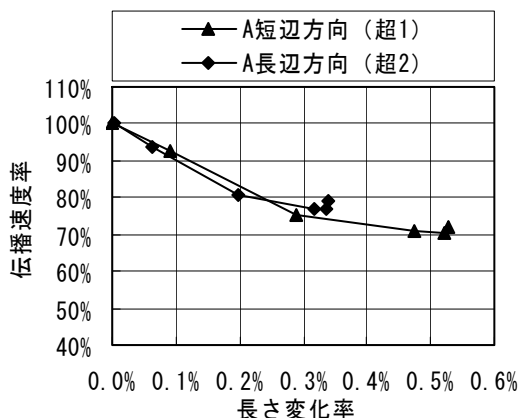


図-8 長さ変化率と超音波伝播速度率の関係 (大型供試体)

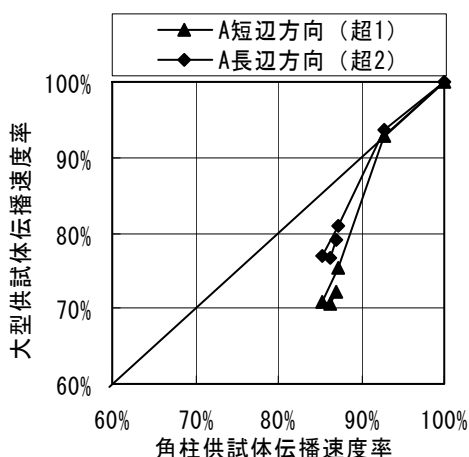


図-9 角柱供試体と大型供試体の伝播速度率の比較例 (A 供試体)

度率と大型供試体の超音波伝播速度率を比較して図-9に示す。超音波伝播速度率が95%程度までの範囲では、角柱供試体と大型供試体で同程度の値となっているが、その後は、大型供試体の超音波伝播速度の低下が、角柱供試体よりも顕著であった。

大型供試体の超音波伝播速度が大きく低下した原因は必ずしも明確ではないが、部位によっては大型供試体の膨張量が大きかったこと、超音波伝播速度を測定した距離が異なることなどが影響しているものと考えられる。

### 3. 1. 5 膨張量と弾性波伝播速度の関係に関する検討結果のまとめ

今回の実験により、以下の知見を得た。

- (1) ASRにより劣化したコンクリートの弾性係数は、大きく低下することが確認された。また、応力-ひずみ曲線は、圧縮応力がピークとなる時点まで直線性が強い特徴が認められた。
- (2) 角柱供試体の長さ変化率、相対動弾性係数、超音波伝播速度率を比較したところ、相対動弾性係数が85%程度まで低下した際に、超音波伝播速度率が95%程度まで低下しており、この点では迅速法の判定基準と類似していた。しかし、長さ変化率と相対動弾性係数、超音波伝播速度率の関係は、迅速法の判定基準とは異なっていた。
- (3) 角柱供試体と大型供試体の弾性波伝播速度の低下程度は、それが95%程度までの範囲では同程度であった。しかし、膨張量が大きくなると、大型供試体の方が弾性波伝播速度の低下が顕著であり、ASRの影響を把握しやすくなるものと考えられた。

## 3. 2 実橋への適用性の検討<sup>3)</sup>

### 3. 2. 1 検討目的

すでに述べたように、ASRにより膨張したコンクリートでは、弾性波伝播速度が低下することが知られているが、これによって部位による劣化程度の違いなどを把握できるか、試行的に検討した。

### 3. 2. 2 検討方法

#### (1) 調査対象

調査対象は、ASRによりひび割れが生じた道路橋の橋脚である。主として測定したのはり部の状況を図-10に示す。この橋梁は、隣接した位置にバイパス道路が完成したため撤去される予定があった。そこで、撤去前に、弾性波伝播速度の測定を行った。ただし、後述するように撤去前の測定では、安定した測定結果を得ることが困難であった。そこで、本報では、撤去後切り出した部材の調査結果について主に報告する。

撤去時にはりの先端付近を切り出し、土木研究所の屋外に約1年間保管した。その後、ここからさらに幅約300mmのコンクリート部材(図-11)を切り出して劣化状況の調査を行うとともに、再度、超



図-10 調査した橋梁はり部



図-13 弾性波伝播速度測定状況（現場での測定）

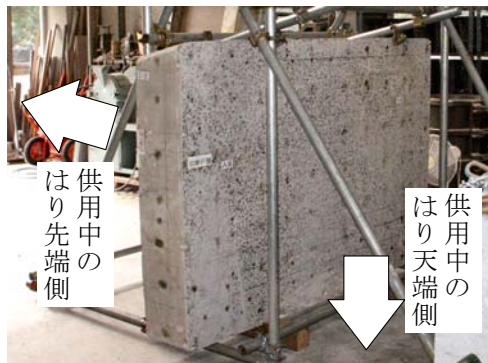
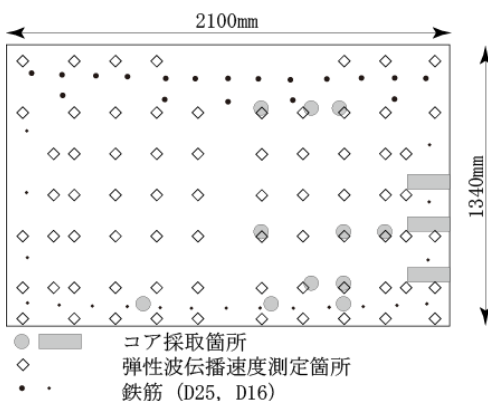


図-11 調査に用いた切断部材



※供用時の向きで、図2とは天端側である。

図-12 切断部材の測定位置等

音波伝播速度の測定を行った。なお、切り出した部位は、はりの先端からおおよそ 1960~2260mm に位置していた部位である。

### (2) 劣化状況の調査

部材の劣化状況を把握するため、ひび割れの目観察やコンクリート試料の顕微鏡による観察などを行った。その後、図-12 に示す位置で 70mm のコアを採取し、採取したコアの一部を整形して圧縮強度および静弾性係数の測定を行った。

### (3) 超音波を用いた測定（切断部材）

切り出した部材を対象に透過法で弾性波伝播時間を測定した。測定位置を図-12 に示す。測定には周波数 28kHz の超音波を受信できる装置を用いた。装置はこれ以外の測定でも同じものを使用した。探触子間の距離は、現場で測定した部材の長さ (283~300mm) から推定して求めた。このように求めた伝播時間、距離から弾性波伝播速度を求めた。

また、圧縮強度試験等に用いるコアを採取した直後に、そのコアの弾性波伝播速度を透過法で測定した。

### ( ) 超音波を用いた測定（現場）

撤去前に調査対象のはり部 2 箇所および同一橋脚の柱部 2 箇所において、同一のコンクリート表面上に 50~500mm の間で振/受振子を設置し、弾性波伝播速度を測定した。測定時の状況を図-13 に示す。

## 3. 2. 3 ASR 劣化状況の調査結果

はり側面および下面のひび割れ図を図-14、図-15 に示す。ひび割れは、はりの下面や下面に近い側面で顕著であった。はりの上面には幅の大きなひび割れは認められなかった。部位によってひび割れ状況が異なる原因としては、雨水の浸透状況や、配置されている鉄筋量の違いなどが考えられる。

次に切断面のひび割れ図を図-16 に示す。部材表面のひび割れ幅がかなり大きい場合でも、ひび割れの範囲はコンクリートの硬化部分にとどまっている場合が多かった。

なお、コンクリート断面や試験体の観察結果から、粗骨材として使用されていた安価な材料が多量に含まれており、ASR ゲルが生じていることが確認された。

採取したコアの圧縮強度、静弾性係数試験結果を図-17 に示す。圧縮強度は、18~27N/mm<sup>2</sup> の範囲



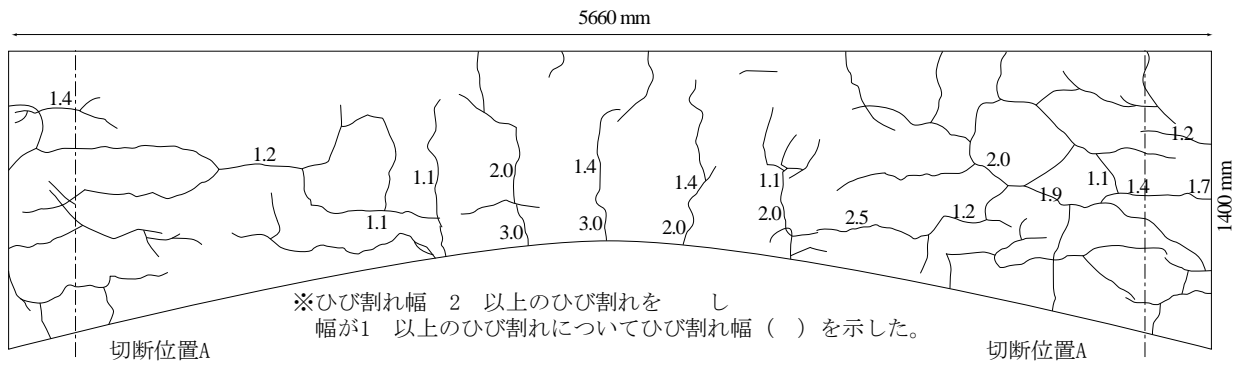


図-14 ひび割れ図 (側面)

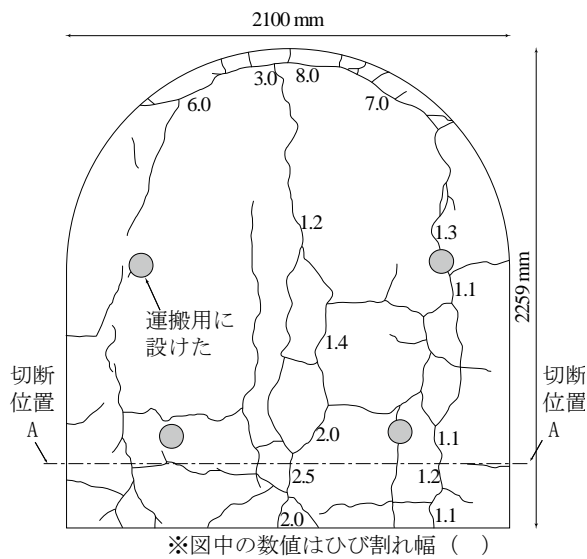


図-15 ひび割れ図 (下面)

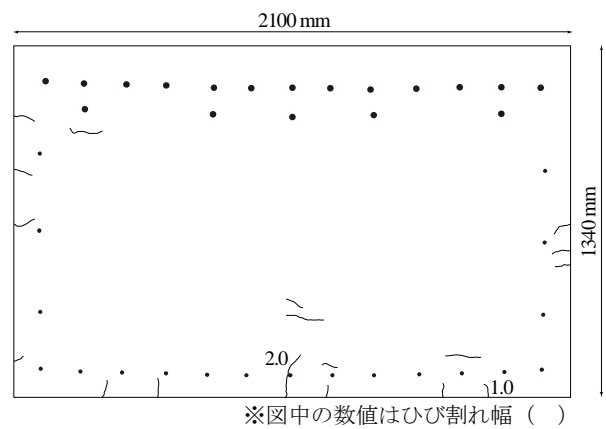


図-16 ひび割れ図 (切断面)

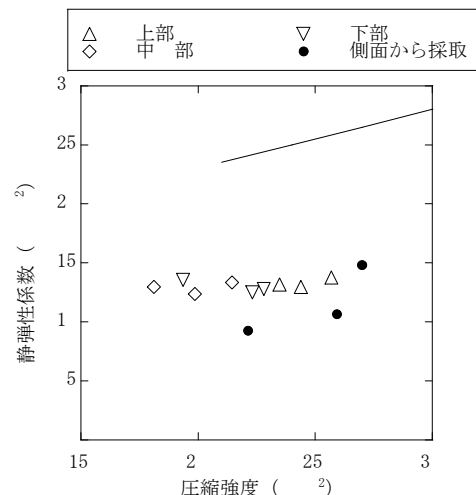
にあった。コンクリートの設 基準強度は 明であるが、 $21\sim 24\text{N/mm}^2$ 程度と 定され、劣化による強度の低下は著しくはなかった。採取位置による違いに着目すると、ひび割れが ない上部のコアが比較的大きい値を示した。

一方で、静弾性係数の測定結果は、圧縮強度から予 される値より著しく小さかった。これは ASR により劣化を生じたコンクリートの特徴として知られている。測定された静弾性係数はコア採取位置に関わらずほぼ同程度であった。

### 3. 2. 4 弾性波伝播速度の測定結果 (切断部材)

#### (1) コア採取前

コア採取前の切断部材を対象に透過法で測定した弾性波伝播速度の測定結果を図-18 に示す。測定された弾性波伝播速度は、約  $3600\sim 4300\text{m/sec}$  の範囲にあった。その分 を見ると、鉄筋量が多くひび割れが なかった上部では、弾性波伝播速度が大きかった。上部は、ASR によるコンクリートの膨脹が拘束されており、劣化の程度が小さかったためと考



※図中の線は、道路橋示方 で示された設 基準強度とング係数の関係

図-17 コアの圧縮強度・静弾性係数

えられる。一方、中 部から下部にかけては、弾性波伝播速度は同程度で、比較的小さかった。調査した部材は、主鉄筋の する上部を くと鉄筋量が



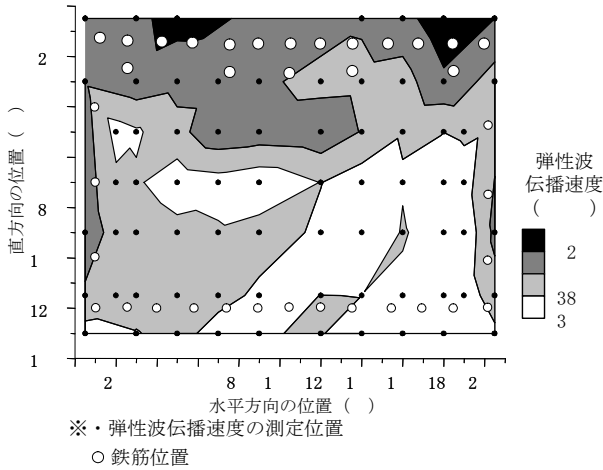


図-18 弾性波伝播速度の分布

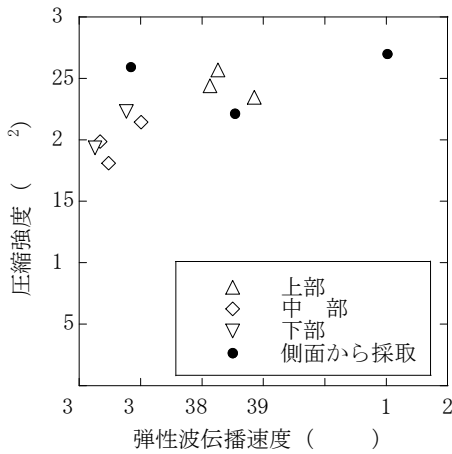


図-19 弾性波伝播速度と圧縮強度

なく、鉄筋による膨張の結果は小さかったものと考えられる。

コア採取前の切断部材で測定した弾性波伝播速度と、採取したコアの圧縮強度の関係を図-19に示す。伝播速度が低下している部位ほどコアの強度が低下している関係が認められた。

(2) 採取後のコア

採取直後のコア（長さ約300mm）を用いて測定した弾性波伝播速度を、採取前に測定した結果と比較して図-20に示す。採取したコアの弾性波伝播速度は採取前に測定した値よりもやや小さく、コア採取によってコンクリートの組織にダメージが生じたことも考えられる。

3. 2. 5 弾性波伝播速度の測定結果（現地）

撤去前に測定した弾性波伝播速度を図-21に示す。探触子間の距離をのぼすと伝播速度が大きく低下する場合があったが、これはコンクリート表面付

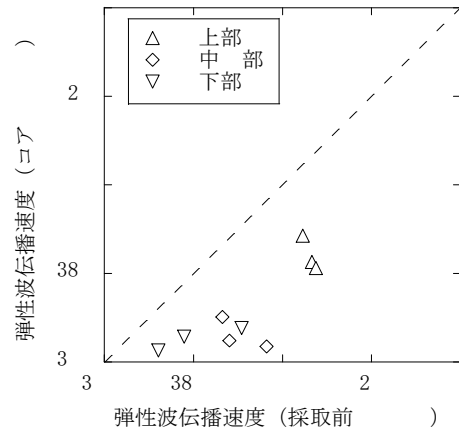


図-20 コア採取前後の弾性波伝播速度

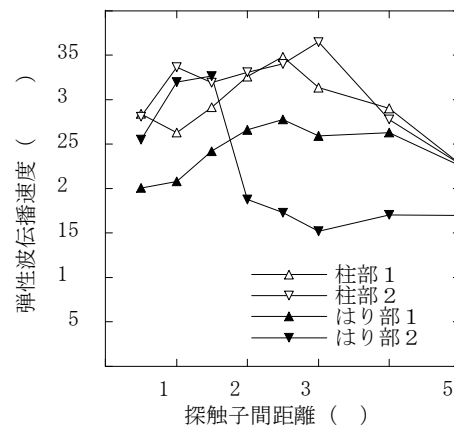


図-21 弾性波伝播速度

近に多い ASR によるひび割れが影響を及ぼしたものと考えられた。

柱部とはり部を比較すると、柱部の方が目立つひび割れがなかったが、探触子の間隔を大きくするとひび割れの無い位置を特定することも困難で、ひび割れの影響を受けて適切に測定することは困難であった。

3. 2. 6 実橋での適用性検討結果のまとめ

今回の検討により、以下の知見を得た。

- (1) コンクリート表面には顕著なひび割れが多数見られたが、最外の鉄筋よりも内部まで見られているひび割れはわずかであった。
- (2) 切断部材を用いて透過法で弾性波伝播速度を測定したところ、劣化が顕著な部位ほど伝播速度が低下していた。
- (3) 切断部材からコアを採取して測定すると、コア採取前と比較して弾性波伝播速度が低下した。
- (4) 採取したコアの静弾性係数は、部位による劣化程度の大小にかかわらず同程度で、健全なコンク

リート比較して著しく小さかった。

これらの結果から、採取したコア供試体の静弾性係数や弾性波伝播速度測定結果は、ASR かどうかの判定指標として有用であるが、コア採取の影響を受けて低下するので、構造物の劣化程度を評価する指標としては必ずしも適当では無いと考えられる。また、切断部材の弾性波伝播速度測定結果から、部位による劣化程度を評価する指標としてこれを用いることができる可能性が示されたが、撤去前の構造物表面のみを用いた測定では、ひび割れの影響が大きく、評価が困難であった。

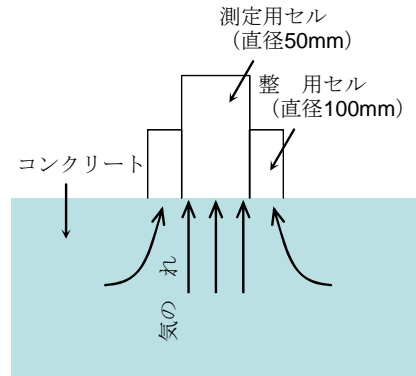


図-22 透気係数の測定方法

#### 4. 透気試験を用いた ASR 劣化部材の評価に関する検討<sup>4)</sup>

##### 4. 1 実橋床版のコンクリート品質の調査

##### 4. 1. 1 調査の目的

従来から多くのコンクリート構造物が 会資本として用されており、それに伴い、設から長期間が経過した構造物も増えている。このため、既構造物の維持管理の定に立つ点検・調査が強く求められている。

透気試験は、化コンクリートの透気係数を測定する試験方法で、中性化速度との関係が認められるなど、耐久性を評価できる試験として期されている。透気試験には、コンクリート表面から非破壊で実施できる方法もあり、構造物中のコンクリートの品質を比較的容易に、定量的に評価できる可能性がある。

一方、透気試験には、コンクリート中の水分量の影響を受けること、試験法によってはコンクリート表面の影響を受けることなどが指されており、実構造物に適用する際の試験方法や適用範囲が十分に確立されているとは言えない。

本研究の期間に、撤去される橋梁床版のコンクリート品質を調査する機会を得たので透気試験を含む試験等を行い、その試験結果を検した。

##### 4. 1. 2 検討した透気試験の方法

透気試験の方法には種々の提案があるが、ここでは、完全に非破壊で実施できること、整用セルの結果で比較的安定した結果が得られると期されることから、TORRENT 法<sup>5)</sup>の測定置を用いた。この方法は、測定面に設置した測定用セルをほぼにした状で測定を開始し、測定用セルとンプの接を遮断した後の、測定用セルの気圧変化を測定することで、透気係数を求める方法である (図

表-5 透気係数に基づくコンクリートの評価<sup>5)</sup>

Covercrete Grade	A	B	C	D	E
Quality	Excellent	Very Good	Fair	Poor	Very Poor
Coefficient of Air-Permeability $kT (10^{-16} m^2)$	< 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 1	1 - 10	> 10

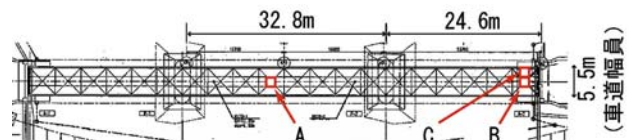


図-23 調査位置



図-24 調査前の状況 (調査位置 A)

-22)。

TORRENT 法で得られる透気係数とコンクリートの性能の関係は明確ではないが、透気係数からコンクリート品質の良否を定性的に分類する方法として、例えば、表-5 が提案されている。

##### 4. 1. 3 調査対象構造物

今回調査を行った部材は、道方で供用されていたにかかると鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版である。この橋梁は、1952年に工後、1993年に

表一6 現 調査で行った調査・測定の方法

項目	方法
透気試験	TORRENT 法による。
反 度測定	JIS A 1155 による。
超音波伝播速度測定	周波数が28kHzのセン を有する装置を使用し、測定面に2つのセン を設置して、セン 間の超音波伝播速度を測定した。セン 間の距離を 50mm から400m まで変化させ、8 回測定した。
表面水分量測定	高周波容量 のコンクリート水分 を用いて5 回測定し、平均値を求めた。

表一7 透気試験結果 (現 調査)

調査位置	測定回数	透気係数
A	1	測定用セルの気圧変化が小さく、透気係数が得られなかった。
B	3	測定用セルの気圧が急速に増加し、透気係数が得られなかった。
C	3	0.034、42.92、0.012 ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )

表一8 測定結果 (現 調査、透気試験 く)

調査位置	反 度	超音波伝播速度 (m/sec)	表面水分量 (%)
A	54.4	3247~4464、平均 4023	5.1
B	53.2	3279~3876、平均 3550	4.8
C	51.9	3788~4438、平均 4223	4.5

国道へ となった。その後、2002 年には 化のため通行 めの 置がとられた。調査は撤去前(2008 年 11 月)と、撤去後(2009 年 4 月)に行った。

床版は さが 150mm で、その上に 50mm のコンクリート が施工されていた。コンクリート配合については、セメント、 、 利の比が 1 : 2 : 4 であることが記 されていた。

撤去前に床版下面の目 観察を行い、調査位置として、表面のひび割れが目立った部位 (A) と、一部に粗骨材の露出が見られるものの 離 を伴うひび割れは認められず、健全と考えられる部位 (B)、 者の中間的な部位 (C) を 定した(図-23、図-24)。調査を行う範囲はおおよそ 1m×1m とした。

#### 4. 1. 4 現地調査

##### (1) 調査方法

撤去する前の床版下面に近接し、透気試験、反度測定、表面 点法による超音波伝播速度の測定、表面水分量測定を行った(表一6)。試験や測定は、ひび割れ等の変状 所を けるなど、調査方法に適

表一9 再調査で行った試験・測定の方法

項目	方法
透気試験	TORRENT 法による。
反 度測定	JIS A 1155 による。透気試験測定位置の近 で行った。
中性化 さ測定	JIS A 1152 による。コアの割 面を用いた。
コアの密度・吸水率測定	コアの表 、 状 での質量、水中で見かけの質量を測定した。
圧縮強度試験	JIS A 1108 に準じて行った。

※コアによって長短があるが、表面側(表面から 50~80mm 程度まで)を中性化 さの測定、密度・吸水率試験に用い、 側(一部 コンクリートも含む)を、圧縮強度試験に用いた。

した位置を 定するようにした。

##### (2) 調査結果

透気試験の結果を表一7 に示す。また、透気試験以外の測定結果を表一8 に示す。

透気試験の結果は、調査位置によって著しく異なった。調査位置 A では、ひび割れを けて測定したところ測定用セルの気圧変化が小さく 透気係数を測定できなかった。一方、外見上は健全な調査位置 B で、測定用セルの気圧変化が大きく 透気係数を測定できなかった、すなわち、目 観察の結果から推定したコンクリート品質の良否と、透気係数の結果が一 していなかった。

同様に、超音波伝播速度の測定結果でも、調査位置 B の速度が小さく、コンクリートの品質が劣ることが われた。一方、反 度の測定結果では、測定部位による違いは顕著ではなかった。なお、表面水分量の測定結果から、調査位置の含水状 の差は顕著ではないと考えられ、含水状 が透気試験の結果に えた影響は 微であると考えられる。

このように透気試験では、調査位置によってコンクリートの品質に大きな違いがあることが示 されたが、その結果は の試験・測定結果とは必ずしも傾向が一 しなかった。また、測定を行った日は、最高気温 3.4℃、最低気温 イ ス 9.1℃と気温が低く、種々の試験結果に影響を えたおそれもある。そこで、透気試験結果の再現性を確認するための再調査を行った。

#### 4. 1. 5 切り出した床版の再調査

##### (1) 調査方法

撤去時に現 調査を行った部位を切り出し、屋内に保管した。撤去から約 3 ヶ月後にこの床版を対象に再調査を行った。なお、調査位置 C は、撤去時に

表-10 透気試験結果（再調査）

調査位置	測定位置 <sup>*1</sup>	透気係数 ( $\times 10^{-16} \text{ m}^2$ )	考 (測定位置の変状)
A	a	22.83	微細なひび割れ（コア採取後に確認）
	b	EE <sup>*3</sup>	約 100mm の位置に木材の露出
	c	AA <sup>*2</sup>	
	d	0.118	
	e	54.27	微細なひび割れ <sup>*4</sup>
	f	0.002	
	g	11.23	
	h	EE <sup>*3</sup>	ひび割れ（幅 0.3mm）
B	i	EE <sup>*3</sup>	
	j	EE <sup>*3</sup>	
	k	32.55	
	l	EE <sup>*3</sup>	微細なひび割れ <sup>*4</sup>
	m	EE <sup>*3</sup>	近に微なジンカ
	n	EE <sup>*3</sup>	微細なひび割れ <sup>*4</sup>
	o	EE <sup>*3</sup>	
	p	54.38	

\*1 測定位置は、約 1 × 1m の調査位置の範囲で、表面の変状が見られない部位を主体として 定した。

\*2 測定用セルの気圧変化が小さく、透気係数が得られなかった。

\*3 測定用セルの気圧が急速に増加し、透気係数が得られなかった。

\*4 ひび割れ幅の測定が困難なような、微細な表面ひび割れを指す。

生じた 傷の程度が大きく、再調査の対象としなかった。

再調査では、まず透気試験、反 度の測定を行い、その後直径が約 70mm のコアを採取して、種々の試験・測定を行った（表-9）。

### （2）再調査結果—透気係数

透気試験の結果を表-10 に示す。調査位置 A では、測定位置によって透気係数が大きく異なった。透気係数が大きい測定位置では、コンクリート表面に微細なひび割れが見られるなど、変状が見られた場合が多かった。一方、調査位置 A の中でも変状が認められない測定位置では、透気係数が比較的小さく、コンクリートの品質が良い（表-5 で Excellent、Very Good に 当）との評価結果が得られた。

これに対し、調査位置 B では、ほとんどの測定位置で透気係数が大きすぎ、測定できなかった。また、透気係数が得られた測定位置でも、その値は大きかった（表-5 で Very Poor に 当）。

### （3）再調査結果—反 度

反 度の測定結果を図-25 に示す。調査位置 A と B を比較すると、調査位置 B の反 度が若干小さいが、 者の差は顕著ではなかった。また、同じ調

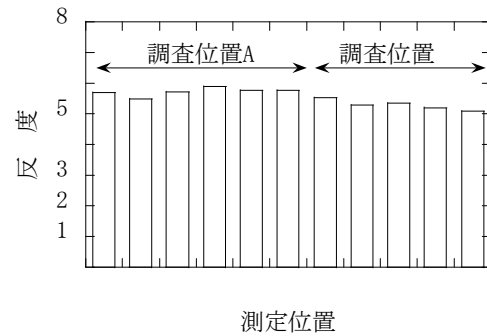


図-25 反 度測定結果（再調査）

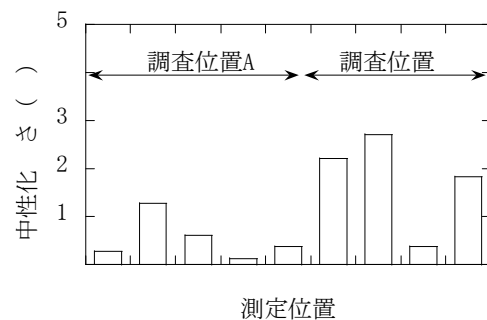


図-26 中性化 測定結果（再調査）

査位置での測定位置による差も小さかった。なお、日本材料学会の強度推定 を用いて推定すると、圧縮強度は 46.6~56.8N/mm<sup>2</sup> の範囲にあった（材齢の影響は考慮せず）。

### （ ）再調査結果—コアの外観等

調査位置 A では、コア採取時にコアが することが多かった。部位によっては、当初からコンクリート表面と平行な向きにひび割れが入っていたものと見られる。一方、調査位置 B ではこのようなひび割れは認められなかったが、コア側面に直径 1mm 程度の気 の が多く見られる場合があった。

透気試験実施位置とは別に、外見上ひび割れが顕著だった 所（調査位置 A）でコアを採取して観察した結果、表面のひび割れ幅は最大で 0.3mm であったが、ひび割れの さは床版下面から 10mm 程度にとどまっていた。ただし、今回調査した範囲とは別の部位の切断面を見ると、ひび割れが床版を 通している 所もあった。なお、コンクリート中の鉄筋には顕著な が認められず、 がひび割れ 生に影響している可能性は低いものと考えられる。

コンクリート表面で見られたひび割れの原因としては、コンクリートの 縮、結 解作用などが考えられるが、明確にはできなかった。

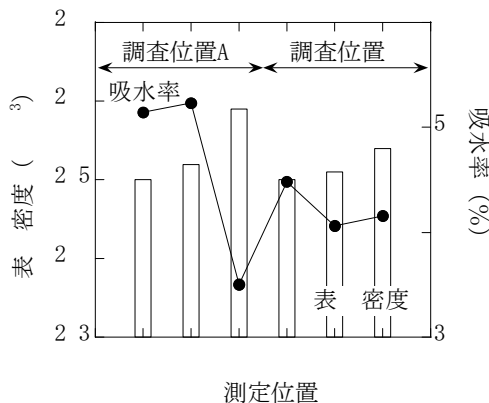


図-27 再調査-密度・吸水率測定結果

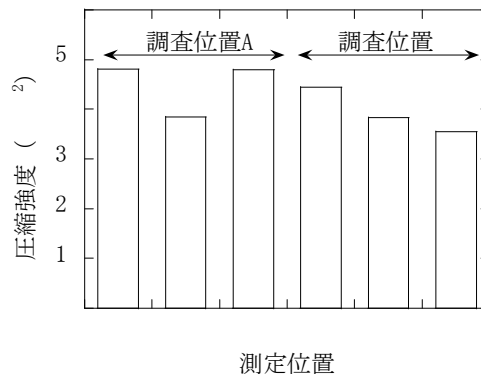


図-28 再調査-圧縮強度試験結果

表-11 試験・測定の結果(まとめ)

項目	試験・測定の結果		調査位置による違い
	調査位置 A	調査位置 B	
目 観察	・ 離れを伴うひび割れが見られる	・ 健全である	調査位置 A の品質が劣る 象
透気試験	・ 測定 所により大きく異なるが、表面に変状がない部位では透気係数は小さい	・ 透気係数が大きく、コンクリートの品質が低い	調査位置 B のコンクリートは品質が低い
反 度	・ 平均で 57.2 (再調査)	・ 平均で 52.9 (再調査)	調査位置による差異は 微
中性化 さ	・ 平均で 5.3mm (中性化速度係数 0.7mm/ 年)	・ 平均で 17.8mm (中性化速度係数 2.4mm/ 年)	調査位置 B は中性化速度が若干速い
圧縮強度	・ 平均で 44.8N/mm <sup>2</sup>	・ 平均で 39.4N/mm <sup>2</sup>	比較すると調査位置 B が小さいが、十分な強度

( ) 再調査結果-中性化 さ

コアの中性化 さ測定結果を、図-26 に示す。調査位置 A、B は、幅 の中 付近で降雨等の影響を受けにくいこと、下が である点が共通しており、中性化に関する環境としては同程度と考えられたが、その平均中性化 さは、調査位置 A では 5.3mm、調査位置 B では 17.8mm と大きく異なっていた。

( ) 再調査結果-密度・吸水率

コアの密度・吸水率の測定結果を、図-27 に示す。吸水率の平均値は、調査位置 A が、調査位置 B より大きかった。測定位置 d、e のコアは、中性化 さも比較的大きく、調査位置 A の中では、コンクリートの品質に劣る可能性がある。

なお、測定位置 f のコアには、断面 の 分以上を めるような粗骨材が含まれており、測定結果に影響を えたおそれがある。このような特に大きな骨材 (Gmax80mm 程度) は、床版切断面等で 見されたが、その位置は床版の中程にある場合が多く、密度・吸水率を測定した測定位置 f 以外のコアには含まれなかった。

( ) 再調査結果-コアの圧縮強度

コアの圧縮強度試験結果を、図-28 に示す。調査位置 A と B を比較すると、調査位置 B の強度が若干小さかったが、その差は顕著とまでは言えなかった。また、調査位置 B でも、平均で 39.4N/mm<sup>2</sup> の圧縮強度が得られており、コンクリートの強度は十分高いと評価できる。

4. 1. 6 調査結果に基づく考察

(1) 調査位置によるコンクリート品質の違いと試験/調査結果

主要な試験・測定の結果を、表-11 に示す。今回調査の対象とした床版には、コンクリート表面のひび割れが目立つ調査位置 A と、表面の変状が 微な調査位置 B があったが、透気試験の結果では、外見上健全な調査位置 B で透気係数が通 よりも大きいとの結果が得られ、コアを採取して調査した結果、調査位置 B の中性化 さが大きかった。

ここで、(1)で示される中性化速度係数を求めると、調査位置 B の中性化速度係数は、平均で 2.4mm/年、最大で 3.6 mm/ 年であった。

$$A = \frac{C}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

ただし、A：中性化速度係数（mm/年）、C：中性化さ（mm）、t：工からの経過年

これに対し、既の実構造物調査結果<sup>6)</sup>では、コアの圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>程度の場合の中性化速度係数は最大で、3mm/年程度であった。すなわち、調査位置Bの中性化速度は、同程度の強度を有するコンクリートが用いられた構造物としては比較的大きいものであった。

調査位置Bで中性化速度が比較的大きかった原因は必ずしも明確ではないが、採取したコアの側面に気のアゲが多く認められたことから、打設時にきまされた気によってコンクリートの緻密さがなわれたことが考えられる。なお、コアの圧縮強度試験及び反度測定では、調査位置による違いは顕著ではなかった。

一般に水セメント比が小さく強度の高いコンクリートほど、中性化速度が小さいことが知られているが、今回のように、コンクリートの緻密さのわずかな違いも影響していると考えられることから、中性化に対する抵抗性をより細に評価する場合は、物質透過性を直接評価できる透気試験が有効と考えられる。

#### (2) ひび割れが透気試験結果に与える影響

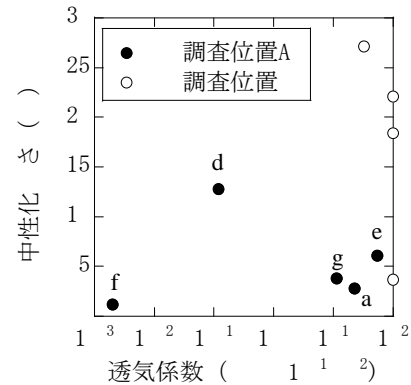
調査位置Aでは、透気試験の結果が、表-5のExcellentからVery Poorまで、様々であった。

透気係数と中性化さの関係を図-29に示す。調査位置Aの測定位置a、e、gでは、透気係数が比較的大きかったが、中性化さは大きくなかった。測定位置aやeでは、コンクリート表面に微細なひび割れが見られ、透気試験結果に影響を与えたおそれがあるが、ひび割れのさはコンクリート表面付近にとどまるもので、中性化への影響は限定的であった。

調査位置Aの測定位置dやfでは、コア採取中に、表面から約80mmの位置でコアが割れ、当初からひび割れが生じていたことがわかれたが、透気係数は小さな値が得られていた(表-10)。表面付近が緻密なコンクリートで形成されていると、内部の有無は透気係数には反されないおそれがあった。

#### 4. 1. 7 実橋床版の調査結果のまとめ

(1) 透気試験の結果から、外見上は健全な調査位置Bのコンクリートの品質が劣っている可能性があることを推定できた。コアを用いた測定の結果、調査位置Bの中性化さが大きかった。



※調査位置Bで測定できなかった透気係数は、 $100 \times 10^{-16} \text{m}^2$ として図示した。

図-29 透気係数と中性化さの関係

(2) 調査位置による中性化さの違いは、コアの圧縮強度試験や反度測定では予見できないものであった。

(3) 調査全体を通じて透気係数が算出できなかった測定位置が多く、コンクリートの品質を定量的に評価できるとまでは言えなかった。コンクリート表面付近の微なひび割れが透気試験の結果に影響を与えているおそれがあった。

#### 4. 2 含水率が透気係数に与える影響に関する検討

##### 4. 2. 1 検討の目的

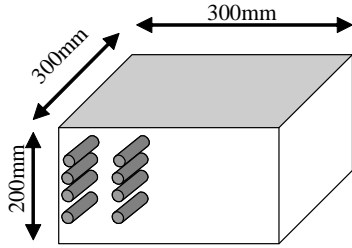
コンクリート表面から行うことができる現場透気試験は、構造体コンクリートの物質透過性を非破壊で評価できる試験方法として期されている。しかし、透気係数は、測定対象の含水率の影響を受けることが知られており、試験結果の精度には十分に明確でない点がある。そこで、モルタル供試体を用いて、含水率の影響を検討した。

##### 4. 2. 2 自然乾燥させたモルタル供試体の透気係数<sup>7)</sup>

###### (1) 実験方法

使用した供試体の形状を図-30に示す。供試体には、製作時期の異なるシリーズAとシリーズBがある。供試体に使用したモルタルの配合を表-12に示す。供試体は打設後材齢7日まで湿状態で養生し、その後は20℃の温室で2ヶ月程度保管した。さらには、調のない屋内に保管した。透気試験には、コア上した打設面を用いた。

透気試験には、完全に非破壊で実施でき、整備セルを有するTORRENT法の測定装置を用いた。一つの供試体に対し、数時間の間をけて2~3回の測定を行い、平均値を測定結果とした。この試験方法では、得られた透気係数からコンクリートの品質



※測定面（上面）から 20、40、60、100mm の位置に 気抵抗測定用のス ンス（6mm）を 50mm 間 で設置した。

※供試体側面をエ キシ でした。

図-30 供試体の形状

表-12 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			測定値	
	W	C	S	Air (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
40	240	600	1272	8.2	38.5
50		480	1371	8.2	36.6
70		343	1484	7.2	22.0
90		267	1547	7.2	14.7

シリーズ B

W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			測定値	
	W	C	S	Air (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
40	240	600	1272	12.8	54.8
50		480	1371	12.1	39.0
60		343	1437	12.5	33.5
70		267	1484	10.0	27.8

※セメントには 通 ルトランドセメントを使用した。また、AE 水を使用した。

※圧縮強度試験に用いる供試体は、材齢 28 日まで水中養生した。

※シリーズ A と B で圧縮強度に大きな違いがあったが、その原因は明確にはできなかった。

を 5 程度に分類できるとされている (表-5)。

供試体の 状 を記 するため、透気試験時には、TORREENT 法の測定 置に接 できる を使用して、4 点 法で試験面から比抵抗を測定した。また、供試体中に め んだス ンス (以下、み )間の 気抵抗を LCR メータで測定した。

## (2) 実験結果と考察

透気試験の結果を図-31 に示す。材齢の測定結果に着目すると、おおむ 水セメント比が小さいモルタルほど透気係数が小さく、より密実なモルタルであると評価することができた。ただし、水セメント比 40%と 50%のモルタルには、透気係数にほとんど違いがない場合も多く、シリーズ B では、水セメ

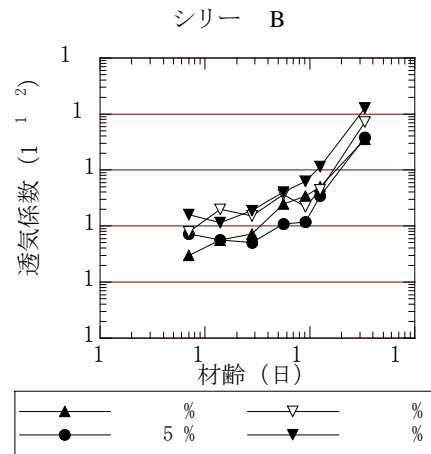
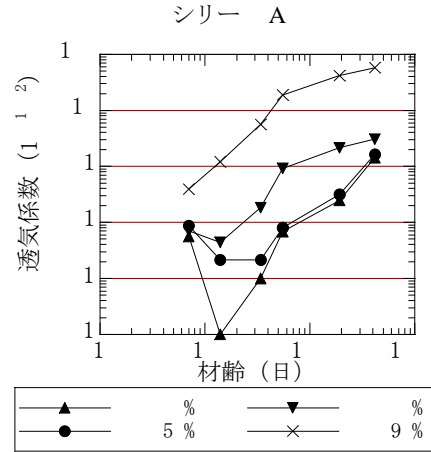
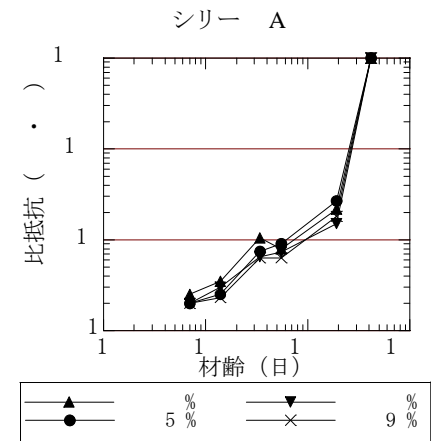


図-31 透気試験結果



※材齢 416 日の測定では、比抵抗の値が得られなかった。抵抗が 置で測定できる範囲を超えたためと考えられる (表示の上では 999k · cm)。

図-32 比抵抗測定結果

ント比 40%の透気係数が大きくなる場合もあった。これに対し、水セメント比を 70%、90%などと大きくした ースでは、透気係数の違いが比較的明確であった。



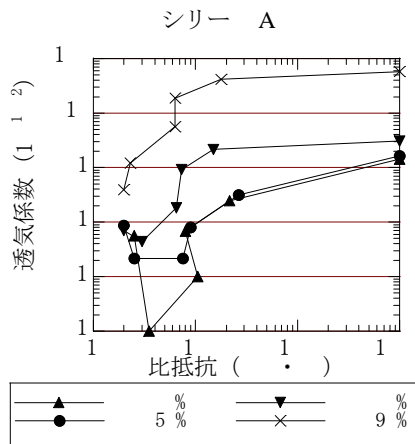


図-33 比抵抗と透気係数の関係

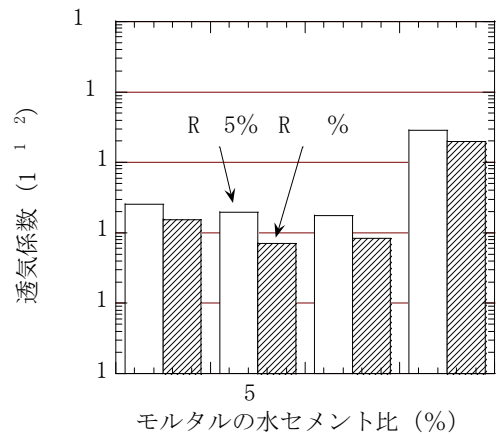


図-35 状態を調整したモルタルの透気係数

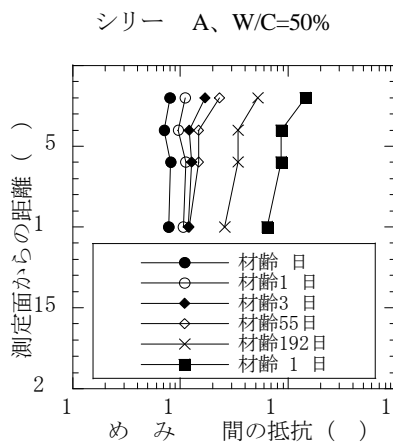
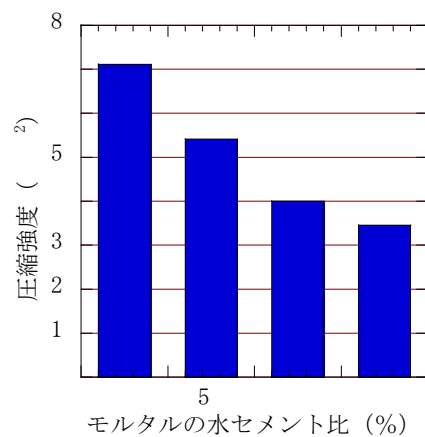


図-34 気抵抗測定結果

透気係数は、材齢と共に大きくなっていった。これは、供試体の乾燥が進んだためと考えられる。今回の実験では、測定時期によって透気係数が大きく異なっており、得られた透気係数のみで、モルタルの品質の良否を評価することは困難であった。

次に、4点法による比抵抗の測定結果(シリー A)を図-32に示す。測定位置の異なるアルでは、透気係数の大きさにもよるが、比抵抗が  $3 \sim 10k$  程度以上になるほど測定すると含水率の違いが透気係数の評価結果に影響を及ぼさないものと考えられている。しかし、今回の実験では、これ以上に比抵抗が大きくなって、透気係数の増加は認められた。また、比抵抗は変化せず、透気係数だけが増大した時期もあった(図-33)。

測定面間の気抵抗の測定結果の例を図-34に示す。この測定では、4点法で顕著な変化が認められなかった時期(例えば、シリー Aの材齢34日と55日の間)にも変化が認められた。表面から測定する4点法は、測定対象の比較的に



※長期間乾燥環境にあったので、7日間水中に浸せきして吸水させてから測定した。

図-36 モルタルの圧縮強度(材齢約1年)

周囲の湿気的性質を反映するので、含水率の変化を細くには把握できない場合もあると考えられる。

#### 4. 2. 3 乾燥状態を調整したモルタルの透気係数

##### (1) 実験方法

前項で検討したシリー Bのモルタル供試体から  $150mm \times 200mm$  のコア2本を採取し、湿度を調整した容器に4週間以上保管して質量が一定状態に達するまで待った。その後、このコアを対象に透気係数の測定を行った。

まず、気温  $20^\circ C$  RH75%の条件で測定し、次に気温  $20^\circ C$  RH60%の条件で測定した。

##### (2) 実験結果

透気係数の測定結果を図-35に示す。全体に、湿度75%で測定した場合の方が湿度60%で測定した場合よりも透気係数が大きくなった。通常は、モルタル中の水分が多いほど、湿気の通り道となる空隙が多くなるため透気係数が低下するものと予測され

る。今回、 の傾向が生じた原因は明らかにはできなかった。

また、相対湿度 75%と 60%の際の透気係数には、顕著な差があるとまではいえなかった。このため、この程度の含水状態となるように調整することで、比較的安定した透気係数を得ることも可能と考えられる。なお、得られた透気係数は、水セメント比 40~60%の供試体では、材齢 7日で養生後、28日までさせて測定した値に近い値であった。

モルタルの水セメント比と透気係数の関係に着目すると、水セメント比が大きい 70%では透気係数が大きくなったが、水セメント比 40~60%の供試体では、透気係数の違いは明確ではなかった。

なお、100mmのコアを採取してほぼ同時期に圧縮強度試験を行った結果、モルタルの強度には水セメント比による違いが明に認められた(図-36)。

#### 4. 2. 4 含水状態の影響に関する検討結果

含水状態が透気係数の測定結果に与える影響について検討するため、水セメント比の異なるモルタル供試体を作製して検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 型後屋内でさせたモルタル供試体で測定を行った結果、が進展するほど透気係数が増大した。材齢 1年が経過すると十分な品質を有する(水セメント比 50%以下)モルタルでも、品質に劣る(poor)と判定された。
- (2) 供試体から採取したコアを湿度 75%または 60%の環境に保管して含水状態を安定させた上で測定した結果、材齢 28日ごろに測定した結果と同程度の透気係数が得られた。このことから、供試体の含水状態を調整した上で測定を行うと、比較的安定した測定結果を得ることが可能と考えられる。
- (3) 供試体のに伴う透気係数の変化に対して、コンクリート品質の違いによる透気係数の違いは顕著ではなかった。特に水セメント比が小さい供試体については、差が生じにくかった。
- (4) (1)~(3)から、透気試験は、品質に劣るコンクリートの検出には適しているものの、比較的品質の良いものについて、その程度を正確に評価することは困難と考えられた。

#### 5. まとめ

本研究課題では、ASRによって劣化した部材の劣化程度を評価する手法として弾性波伝播速度を用い

た測定について検討し、以下の結果を得た。

- (1) 弾性波伝播速度と ASR で劣化した橋脚はり部の内部での劣化程度の間に関係が認められた。
- (2) コア採取の前後で弾性波伝播速度が大きく変化することから、部材の劣化程度を評価するうえで、対象の状態をせずに測定できる非破壊試験が優れていることが確認できた。
- (3) しかし、撤去前に構造物の表面から測定した場合では、ひび割れの影響で伝播速度の測定結果が安定せず、実構造物の適用性という点では課題が残った。

また、コンクリートの緻密さを評価できる方法として透気試験(TORRENT法)について検討し、以下の結果を得た。

- (4) 撤去される橋梁の床版を調査したところ、部位により透気係数に大きな違いがあり、透気係数の大きい部位では、小さい部位よりも、コンクリートの中性化が進行していた。
- (5) ただし、実構造物の透気係数測定結果にはばらつきが大きく、わずかな測定位置の違いによって測定結果が異なることもあった。
- (6) モルタル供試体を用いて透気係数を測定したところ、水セメント比 70%以上など、品質に劣る供試体では透気係数が大きかった。しかし、通以上の品質を有するモルタルでは、透気係数の差は顕著でなかった。
- (7) 透気試験の結果は、測定対象の状態の影響を受け、長期間の間にも、透気係数がしずつ上した。ただし、湿度を 75~60%に調整した環境で調整すると、初期と同程度の透気係数が得られた。

透気試験は非破壊で測定できる試験方法として期されているが、実構造物でできる測定結果を得るためには、コンクリートが吸水または長期の影響を受けるなど、端な含水状態になっていないことが条件となる上に、測定結果のばらつきが大きいことから、数回の測定を行って測定結果を総合的に評価することが必要と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 今本 一:「コンクリート表の透気試験方法の現状と課題」、構造物表面のコンクリート品質と耐久性生検システム研究小会(335 会)成果報告およびシンポジウム要、コンクリートシ

リー No.80、pp.333-344、2008.4

- 2) 、古賀裕久、渡辺博志、木村嘉富：「アルカリシリカ反応により劣化したコンクリートの評価手法に関する研究」、シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文、Vol.3、pp.197-204、2009.8
- 3) 古賀裕久、高則、 、木村嘉富、渡辺博志：ASRで劣化した実橋部材を用いた超音波法の適用性に関する検討、日本非破壊検査会、平成23年度大会要、pp.93-96、2011.5
- 4) 古賀裕久、大太、渡辺博志、 、裕：「実橋床版を用いた透気試験の適用性検討、コンクリート構造物の、強、アップグレード論文報告」、Vol.9、pp.45-50、2009.10
- 5) Torrent, R., Basheer, M. and Gonçalves, A. F.: “Non-destructive Methods to Measure Gas-permeability, Non Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of the Concrete Cover”, RILEM Report40, pp.45-51, 2007.5
- 6) 古賀裕久、 、渡辺博志、中良：平成11年度実調査結果に基づく実構造物中のコンクリート品質に関する検討、セメント・コンクリート論文、No.55、pp.599-606、2002.2
- 7) 古賀裕久、渡辺博志、木村嘉富：含水率が現場透気試験結果に与える影響に関する検討、土木学会65回年次学会、V-257、2010.9

# STUDY ON THE UTILIZATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTS IN EVALUATION OF DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2008-2010

Research Team: Bridges and Structures

Research Group

Author: KIMURA Yoshitomi,

WATANABE Hiroshi

KOGA Hirohisa

**Abstract:** In this project, application of non-destructive test in the investigation of concrete structures is examined using members from existing bridges. For instance, gas-permeability test was carried out in the concrete bridge decks and the results were compared with the results of other test methods. As the results, the carbonation depth of concrete was bigger in the area where gas-permeability index was bigger. On the other hand, the gas-permeability test has some limits. For example, the change of water content in concrete can make more significant effect on the gas-permeability index than the difference of quality of concrete. In addition to the study on the gas-permeability test, application of ultrasonic wave method for the evaluation of the deteriorated concrete by Alkali Silica Reaction was examined.

**Key words:** non-destructive test, concrete, ultrasonic wave method, pulse velocity, gas-permeability test