

粗骨材に着目した PC 橋の変状に関する調査報告

— PC 橋の変状および粗骨材の岩種との相関性 —

鈴木 真*1・松井 俊吾*2・中村 浩*3・宮川 豊章*4

プレストレストコンクリート橋において、主桁が想定以上に橋軸方向に対して収縮した事例、またそのような収縮作用に起因した変状が発生した事例が多数報告されている。この原因には、コンクリートの品質が大きく寄与していると考えられるが、供用から 10～20 年が経過しており施工時の記録が残されていることがきわめて少なく、使用された材料について詳細に確認することが難しいのが現状である。よって、筆者らは変状原因の一つとして粗骨材に着目し、変状が確認されたプレストレストコンクリート橋から採取したコンクリートコアに対して粗骨材の岩種判定を行い、その結果から粗骨材の品質が変状原因の一つになっている可能性があることを示唆することができた。

キーワード：粗骨材、岩種、乾燥収縮、コンクリートコア

1. はじめに

プレストレストコンクリート橋（以下、PC 橋と称す）に発生する変状には、さまざまな原因が考えられる。その中でも、コンクリート部材が想定以上に収縮したことに起因する変状が多数報告されている。写真 - 1 には、可動脊でありながらソールプレートの切欠き端がサイドブロックに接触し、可動域が消失してしまった鋼製支承の一例を示す。この要因として、本支承を有する主桁（PC 連続合成桁橋）が、設計段階において想定されていた変位量以上に収縮してしまったことが考えられる。コンクリート構造物に収縮作用を発生させる要因の一つに乾燥収縮があげられるが、本橋のように供用開始後 20 年以上が経過したコンクリート橋では、乾燥収縮はすでに収束している可能性が高く、過去に発生した乾燥収縮による変位量を把握することはきわめて難しい。そこで、筆者らは乾燥収縮に影響を与える因子として粗骨材の品質に着目した。変状が確認された PC 橋を対象として、コアボーリングによりコンクリートコア試料を採取し、粗骨材と変状の相関性を把握することを目的としてその岩種について調査を行った。その結果、変状が発生している PC 橋から採取した粗骨材の岩種およびその岩種が占める割合に、一定の傾向があることが分かった。

2. 変状の概要

2.1 調査対象橋梁の概要

調査対象となった PC 橋（A 橋～M 橋の 13 橋）の一覧を表 - 1 に示す。全橋梁とも、西日本高速道路(株)関西支社が管理する高速道路橋であり、構造形式は箱桁橋および合成桁橋である。変状が発生した PC 橋との比較検討を行うことを目的として、健全な（乾燥収縮に起因する変状が発生していない）状態にある D 橋、E 橋および K 橋も調

査対象とした。対象橋梁の一例を写真 - 2 に示す。なお、写真 - 1 に示す支承の異常変形は、L 橋において発生したものであり、一部の支承において主桁内に埋設されている上沓のアンカーバーを起点として、主桁端部に割裂が発生していた。

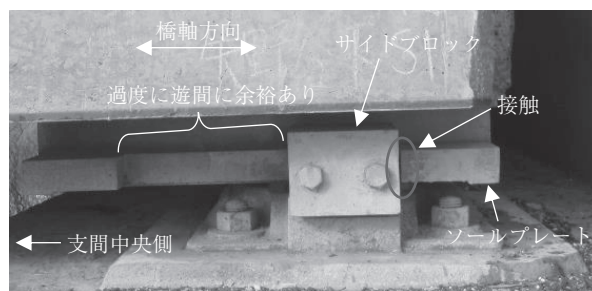


写真 - 1 可動域が消失した鋼製支承の一例

表 - 1 調査対象橋梁

路線名	橋梁名	構造形式	橋長 (m)	供用年度	変状有無	損傷状態
I 自動車道	A 橋	3 径間連続箱桁橋	93.000	H12	有	ひび割れの顕在化 橋脚の損傷 支承の異常変形
	B 橋	5 径間連続 ラーメン箱桁橋	231.500	H8	有	ひび割れの顕在化
II 自動車道	C 橋	5 径間連続 ラーメン箱桁橋	273.000	H2	有	ひび割れの顕在化
	D 橋	3 径間連続 ラーメン箱桁橋	281.000	H2	無	健全
	E 橋	単純合成桁橋	30.000	S49	無	健全
	F 橋	4 径間連続箱桁橋	241.750	S49	有	ひび割れの顕在化 支承の異常変形
	G 橋	4 径間連続箱桁橋	134.000	H10	有	異種骨材の混入
III 自動車道	H 橋	3 径間連続 ラーメン箱桁橋	133.500	H3	有	ひび割れの顕在化 異種骨材の混入
	I 橋	2 径間連続 ラーメン箱桁橋	176.500	H10	有	ひび割れの顕在化
	J 橋	5 径間連続箱桁橋	310.000	S63	有	ひび割れの顕在化
	K 橋	2 径間連続箱桁橋	68.000	S62	無	健全
IV 自動車道	L 橋	3 連続合成桁橋	106.400	S57	有	支承の異常変形
V 自動車道	M 橋	5 径間連続箱桁橋	237.000	S50	有	伸縮装置の遊間不足

*1 Shin SUZUKI：西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 構造技術部

*2 Shungo MATSUI：西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 構造技術部

*3 Hiroshi NAKAMURA：西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 技術計画課

*4 Toyoaki MIYAGAWA：京都大学学際融合教育研究推進センター



(a) A 橋

(b) B 橋



(c) G 橋

(d) H 橋

写真 - 2 対象橋梁の一例

2.2 付属物に変状が発生した事例

L 橋と同様に、A 橋、F 橋および M 橋において支承または伸縮装置に変状が発生していた。

3 径間連続箱桁橋である A 橋は、供用時における支承の条件が全支点とも可動になっている。供用開始から約 15 年が経過した時点で、本橋の両端支点部においてゴム沓が、支間中央側に大きく変位している状態にあることが確認された。その状況を写真 - 3(a) に示す。当該ゴム沓の厚さは 132 mm であるが、冬期において橋軸方向の変位量が最大で 70 mm に達しており、設計荷重時の許容変位量を超過していた。この要因として、本橋の主桁に想定以上の乾燥収縮が発生したことが考えられる。この影響は、支承だけでなく変位制限装置にもおよび、片側の端支点部では橋脚天端に埋設されている変位制限装置のアンカーバー水平力が作用し、橋脚の側面が押抜きせん断破壊を起こした。その状況を写真 - 3(b) に示す。また、もう片方の端支点部では主桁のウェブおよび下床版に損傷が発生しており、ひび割れが顕在化していた。



(a) 支承の変形

(b) 橋脚の損傷

写真 - 3 A 橋に発生した変状

5 径間連続箱桁橋である F 橋においても、写真 - 4(a) に示すように A 橋および L 橋と同様に、支承は支間中央側に大きく変位していた。また、同じく 5 径間連続箱桁橋である M 橋においては、写真 - 4(b) に示すように、主桁端部に設置されている伸縮装置の目地遊間が、大きく広が



(a) F 橋

(b) M 橋

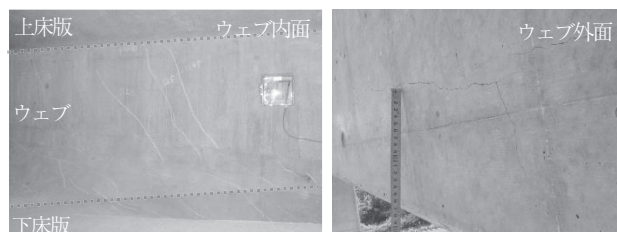
写真 - 4 付属物に発生した変状

っている状態で確認された。

2.3 主桁に損傷が発生した事例

各橋に発生している変状は、付属物の異常変形のように、必ずしも乾燥収縮が過度に発生したことを外観的に確認できるものではない。以下に記す事例は、主桁のひび割れが顕在化したケースであり、その原因として、乾燥収縮による変形が何らかの要因により拘束を受け、主桁部材にひび割れが発生したと推測された。

5 径間連続ラーメン箱桁橋である B 橋において、主桁の全長に渡ってウェブおよび下床版に多数のひび割れが発生していた。その一例として、主桁のウェブ内面に発生したひび割れの状況を写真 - 5(a) に、同じくウェブ外面に発生したひび割れの状況を写真 - 5(b) に示す。また、ひび割れを記録した展開図 (5 径間のうち 1 径間の主桁外面) を図 - 1 に示す。



(a) 箱桁内面

(b) 箱桁外面

写真 - 5 B 橋に発生した損傷の一例

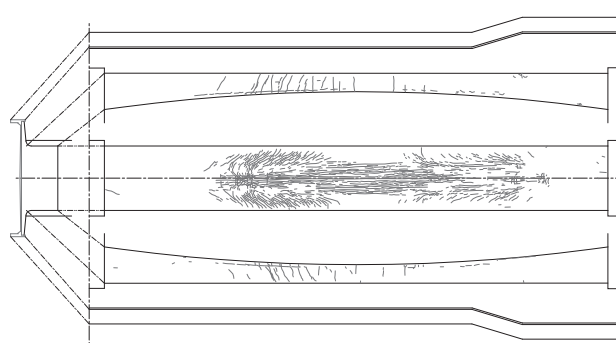


図 - 1 B 橋の損傷図の一例 (外面)

本橋に発生しているひび割れのほとんどは、主桁の外面および内面において同様の位置に発生しており、貫通している可能性が高いと考えられた。ひび割れの方向性は、下床版に対しては主に橋軸方向に、ウェブに対しては鉛直方向または斜め方向が多く、一部では橋軸方向に発生してい

○ 調査報告 ○

た。過年度において、損傷が顕在化したPC橋に対する調査報告書¹⁾を参照してみると、主桁に多数のひび割れが発生した原因として、乾燥収縮ひずみが大きくなる骨材が使用されたことが記載されている。B橋と当該調査報告に記載されているPC橋に発生しているひび割れの性状を比較してみると、類似していることが分かった。

本橋の主桁に対して、リバウンドハンマーにより圧縮強度を計測した結果、設計基準強度 $f'_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ に対して各計測点での平均値は 64.6 N/mm^2 と約1.6倍の強度を示した。また、一部のひび割れに π 型ゲージを設置し、約3年間に渡ってひび割れ幅の変動をモニタリング計測したところ、ひび割れ幅が増大するような傾向は見られなかった。次に主桁に発生した乾燥収縮ひずみを推定する試験を実施した。部材厚が500mm程度あるとコンクリート部材内部の乾燥収縮はほとんど進行しておらず、部材深部より採取したコンクリートコアの収縮量はおおむねコンクリート構造物が保有する収縮のポテンシャルと一致するという見解を基に、マッシブな部材である中間横桁3箇所の深部からコンクリートコアを採取し、当該コアに発生するひずみおよび水分損失量を測定して算出した¹⁾。その結果、乾燥収縮ひずみの推定値は 909μ (平均値)であった(表-2)。本橋の設計に適用された乾燥収縮ひずみは 150μ であったことを考慮すると、約6.1倍の乾燥収縮ひずみが発生した可能性がある。なお、表中の $\omega_{\infty \text{ JIS}}$ は、JIS A 1141に基づき室内試験により計測した水分損失量を示す。

表-2 乾燥収縮試験結果

部位	コア試料	コア試料の最終値		実測値から推定した乾燥収縮ひずみ ε_{∞} ($\times 10^{-6}$)	
		乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{\infty c}$ ($\times 10^{-6}$)	水分損失量 ^{*1} $\omega_{\infty c}$ (kg/m^3)	推定値 ^{*2}	平均値
P2	①	588	21.5	1053	946
	②	499	20.9	919	
	③	484	21.5	867	
P3	①	412	18.3	867	830
	②	436	19.8	848	
	③	416	20.7	774	
P4	①	530	20.5	995	951
	②	435	17.7	946	
	③	436	18.4	912	

※1: 収縮に関与しない水を差し引いた後の水分損失量の最終値

※2: 推定値 $\varepsilon_{\infty c} / \omega_{\infty c} \times \omega_{\infty \text{ JIS}}$ ($\omega_{\infty \text{ JIS}} = 38.5 \text{ kg/m}^3$)

なお、B橋と同様の構造形式(連続ラーメン箱桁橋または連続箱桁橋)であるC橋、F橋、H橋、I橋、J橋においても、同様のひび割れが確認された。

2.4 異種骨材が使用された事例

4径間連続箱桁橋であるG橋において、本橋のウェブから含有塩化物イオン量を測定するために採取したコンクリートコア($\phi 20 \text{ mm}$)に、写真-6に示すように、ほかのコンクリート橋にはほとんど見られなかった赤茶褐色の粗骨材を外観目視により確認した。近隣にあるH橋においても、当該粗骨材が確認された。また、張出し架設工法により施工されたH橋(2径間連続ラーメン箱桁橋)においては、施工目地からの漏水に起因する鉄筋腐食により、上床版下面のかぶり部が剥落していた。その状況を写真-7に示す。本来ならば、主桁の橋軸方向に導入されたプレストレスにより、施工目地に間隙が発生することはないのだ

が、H橋ではこのような隙間が上床版だけでなく、下床版にも数箇所へ渡って発生していた。

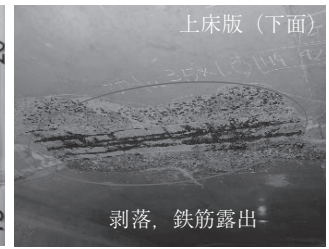


写真-6 粗骨材の状況 写真-7 H橋の損傷状況

2.5 変状原因の推定

各橋の変状原因として、PCケーブル定着部周辺の応力集中やプレストレスの低下などが考えられたため、各橋に対して物性調査だけでなく、復元解析や残存プレストレス量の計測等を行った結果、ひび割れ発生限界を大きく超過するような応力を確認することができなかった。よって、上記の検討報告書¹⁾に記載されているコンクリート材料(とくに粗骨材)の影響に着目し、本調査を実施するに至った。

3. 調査概要

コンクリートコア試料は、コアボーリングにより1橋あたり3試料を採取した。箱桁橋に対しては、写真-8(a)に示すように比較的部材厚が大きい中間支点横桁近傍の下床版から、合成桁橋に対しては、写真-8(b)に示すように端部横桁近傍の主桁ウェブ拡幅部から採取した。コアボーリングを行う前に、レーダ探査機によりコンクリート部材内の鋼材(鉄筋、PCケーブル)の位置を把握して、それらと干渉しない箇所を選定した。コア試料の径は、配筋間隔などを考慮して $\phi 50 \text{ mm}$ とし、採取長さは設計図面をもとに採取箇所の部材厚を確認し、おおむね100mm~150mm程度とした。なお、コア試料採取後は、主桁コンクリートと同程度の強度を有するポリマーセメント系断面修復材を用いて採取箇所の跡埋めを行った。



(a) 箱桁橋の場合 (b) 合成桁橋の場合

写真-8 コアボーリングの状況

採取したコンクリートコア試料に関して、吸水膨張性の可能性を含む岩種および構成割合を確認することを目的として、肉眼観察による岩種の判定を実施した。肉眼による観察は、JCI-DD3「骨材に含まれる有害鉱物の判別(同定)方法」に準拠し、肉眼およびルーペ($\times 25$)を用いて、岩石の色調や組織、構成鉱物の種類や粒径を観察し、各岩石の特徴をもとに岩種の判定を行った。

岩石の構成割合は、JCI-DD4「有害鉱物の定量方法」の線積分法に準拠し、写真 - 9 に示す一例のように、コンクリートコア側面に 10 mm 間隔で縦横方向に走査線を引き、この走査線上に現われる岩石の長さを積算し、走査線全延長で除して求めた。この線積分法の概要を図 - 2 に示す。算定式を式 (1) に示す。

$$R = \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{a_i}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

ここに、R：岩石の構成割合、 a_i ：走査線上に現れる岩石の長さ、 A_0 ：全走査線延長である。

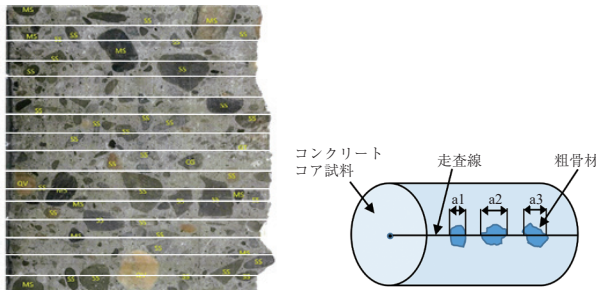


写真 - 9 岩種の構成割合例 図 - 2 線積分法の概要

4. 調査結果

E 橋および I 橋から、コアボーリングにより採取したコンクリートコア試料の一例を、それぞれ写真 - 10 (a) および写真 - 10 (b) に示す。また、各橋から採取したコンクリートコア試料から、粗骨材の岩種判定を行った結果および岩種の構成割合を図 - 3 に示す。図 - 3 中に示す構成割合は、3 試料の平均値である。

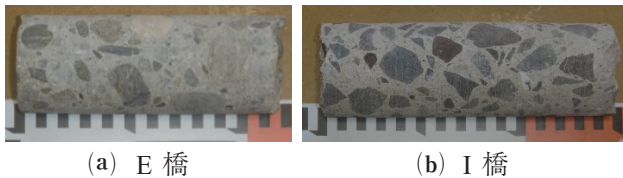


写真 - 10 コンクリートコア試料の一例

図 - 3 を見てみると、A 橋から採取した粗骨材はチャートの構成割合が高く（43.6 ~ 48.8 %）、その他は変形泥岩

やホルンフェルス、酸性凝灰岩、凝灰岩などが多岐に分散していた。また、チャートの一部に反応性リムを確認した。チャートは ASR による反応性のある岩石を含むおそれがあり、実際に反応性リムが発生していることから、ASR が活性状態にあることも推測できる。

B 橋、C 橋、E 橋、F 橋、K 橋、M 橋から採取した粗骨材の岩種構成割合については、砂岩がもっとも多く含まれており、とくに F 橋においては 88 % に達していた。F 橋のコンクリートコア試料の拡大写真を写真 - 11 (a) に示す。砂岩は、吸水膨張性のあるスメクタイトや混合層鉱物を含む可能性のある岩種である。砂岩のほかに泥岩および凝灰岩が含まれていた。

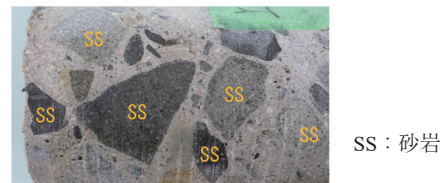


写真 - 11 岩種判定結果の一例 (F 橋)

D 橋から採取した粗骨材における溶結凝灰岩の構成割合が 90.2 ~ 100.0 % と非常に高く、ほかの調査対象橋梁とは異なる岩種構成となっている。凝灰岩等も含まれているが非常に微量である。溶結凝灰岩は吸水性が低い骨材に分類され、現状においても本橋には変状は発生していない。D 橋のコンクリートコア試料の拡大写真を写真 - 12 に示す。

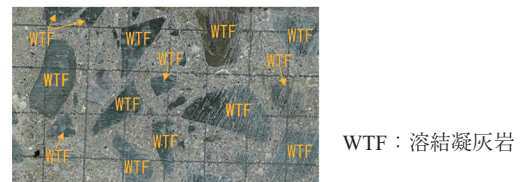


写真 - 12 岩種判定結果の一例 (D 橋)

G 橋、H 橋、I 橋においては、玄武岩類の構成比率が非常に高かった。G 橋のコンクリートコア試料の拡大写真を、写真 - 13 に示す。とくに G 橋、H 橋については、90 % 以上を占めており、玄武岩（緑色化）および玄武岩（赤色

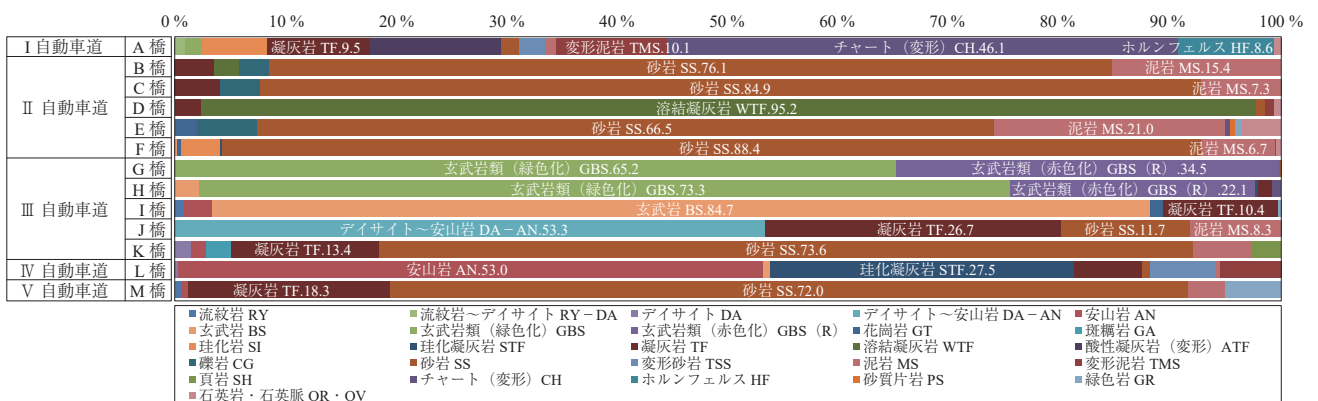
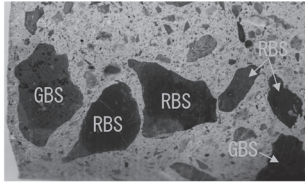


図 - 3 粗骨材の岩種判定結果と各岩種の構成割合

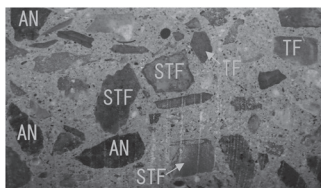
化)の二種類に大別できた(写真-6)。これらの岩種は、吸水膨張性を有するスメクタイトやASR反応性を有するシリカ鉱物などを含まないが、風化作用や低温熱水変質作用を受けることによりスメクタイトなどが生成し、吸水膨張性のある岩種に変質している可能性がある。また、過去の実験結果から、玄武岩に収縮性があるとの報告もある²⁾。



GBS：玄武岩
(緑色化)
RBS：玄武岩
(赤色化)

写真-13 岩種判定結果の一例(G橋)

L橋から採取した粗骨材には、安山岩が45～60%を占めていた。L橋のコンクリートコア試料の拡大写真を写真-14に示す。この岩種は、ASRに対して急速反応性を示すシリカ鉱物(トリディマイトやクリストバライト、オパール、ガラス)を含む可能性のある粗骨材である。また、珪化凝灰岩の含有量が25～30%と比較的高く、ASRに対して遅延反応性がある微小石英や潜晶質石英を含む可能性のある岩種である。これらのことから、本橋では、ASRに対する反応性鉱物を含む可能性がある粗骨材がほぼ100%を占めているが、本橋の外観目視調査の結果、ASRの痕跡を確認することはできなかった。



AN：安山岩
TF：凝灰岩
STF：珪化凝灰岩

写真-14 岩種判定結果の一例(L橋)

本調査結果から変状が確認された橋梁において、粗骨材中に砂岩、安山岩、玄武岩が占める割合が多かった。過去の研究結果において、一般的に骨材中のモンモリロナイトがある条件下で脱水、吸水によりコンクリートが収縮・膨張してひび割れを起こしやすくなるとの報告がある³⁾。上記3種類の岩石には、このモンモリロナイトが多く含まれる傾向がある。

5. 考 察

各橋から採取された粗骨材にもっとも多く含まれていた岩種とその特性を表-3に整理する。表-3より、D橋以外のPC橋において、(想定以上に発生したと推測される)乾燥収縮による拘束ひび割れや支承の変形などの変状を誘発する岩種を含んだ粗骨材が使用されていることが分かった。ここで、これらのデータを参照し、路線別、伸縮桁長、産地の観点から見た考察を以下に述べる。

5.1 路線別に着目した考察

表-3より、複数の橋梁を調査対象とした路線のうち、II自動車道に着目した場合、変状がないD橋および変状

表-3 各橋の岩種と特性

路線名	橋梁名	主要な岩種	変状の有無	岩種特性
I自動車道	A橋	チャート(変形)	有	ASRの可能性あり
	B橋	砂岩	有	吸水膨張性あり
	C橋	砂岩	有	吸水膨張性あり
II自動車道	D橋	溶結凝灰岩	無	吸水膨張性なし
	E橋	砂岩	無	吸水膨張性あり
	F橋	砂岩	有	吸水膨張性あり
	G橋	玄武岩類	有	吸水膨張性あり
III自動車道	H橋	玄武岩類	有	吸水膨張性あり
	I橋	玄武岩	有	吸水膨張性あり
	J橋	デイサイト～安山岩	有	吸水膨張性あり
	K橋	砂岩	無	吸水膨張性あり
IV自動車道	L橋	安山岩	有	ASRの可能性あり
V自動車道	M橋	砂岩	有	吸水膨張性あり

が顕在化しているB橋、C橋、F橋の構成岩種が大きく異なっていることが分かる。このことから、粗骨材に砂岩を多く含むコンクリートを適用したことが変状要因の一つになっていることが推測される。しかし、同じく変状がないE橋においては、変状があるB橋、C橋およびF橋の岩種構成と類似している。このことについては、5.2の伸縮桁長に着目した考察において述べる。

III自動車道は、兵庫県から京都府にかけて南北に延びる高速道路であり、北部(京都府側)および南部(兵庫県側)のそれぞれの地域に位置するPC橋の岩種構成が明確に異なっていることが分かる。北部に位置するG橋、H橋およびI橋は玄武岩類を多量に含む傾向にあるが、南部に位置するJ橋やK橋では、凝灰岩や砂岩を含有する岩種構成となっている。上記のIII自動車道において確認した岩種には、いずれも吸水膨張性やASRの反応性を有する鉱物を含んでいる可能性があるが、K橋にのみ変状が発生していない。これについても、5.2の伸縮桁長に着目した考察において述べる。

5.2 伸縮桁長に着目した考察

E橋およびK橋は、吸水率が高いと推測される岩種が含まれていることが確認されたにも関わらず、材料に起因する変状が確認されなかった。両橋に共通していることは、E橋の支間長が29.100m(単純桁橋)、図-3に示すようにK橋(2径間連続橋であり中間支点が固定、両端が可動である)の支間長が33.500mと、他橋に比べて比較的短いことである。ここで、各橋の伸縮桁長を表-4に示す。E橋およびK橋以外の橋梁伸縮桁長は、91～289mとなっており、両橋と比較して大きいことが分かる。このことから、乾燥収縮を顕在化させる粗骨材が使用されていたとしても、一定の伸縮桁長に達していなければ、変状が発生しないといえる。

上記より、変状を誘発する可能性がある骨材が使用されていたとしても、支間長や主桁の拘束条件などによっては、変状が顕在化しない場合もあることが示唆された。

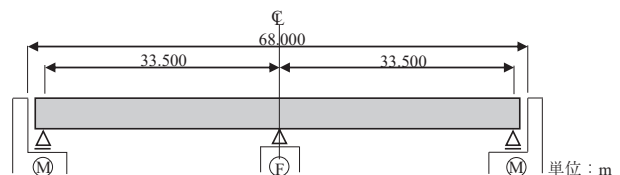


図-4 構造概要図(K橋)

表 - 4 各橋の支間長と伸縮桁長

橋梁名	構造形式	支間長 (m)	伸縮桁長 (m)
A 橋	3 径間連続箱桁橋	26.325+40.500+24.350	91.175
B 橋	5 径間連続ラーメン箱桁橋	26.650+59.000+2@53.000+38.650	230.300
C 橋	5 径間連続ラーメン箱桁橋	39.900+2@68.000+60.000+42.200	278.100
D 橋	3 径間連続ラーメン箱桁橋	82.300+115.000+82.300	279.600
E 橋	単純合成桁橋	29.100	29.100
F 橋	5 径間連続箱桁橋	4@60.000	240.000
G 橋	3 径間連続箱桁橋	30.900+2@35.500+30.900	132.800
H 橋	3 径間連続ラーメン箱桁橋	37.940+56.500+37.940	132.380
I 橋	2 径間連続ラーメン箱桁橋	67.000+67.000	134.000
J 橋	5 径間連続箱桁橋	39.400+70.000+2@60.000+59.400	288.800
K 橋	2 径間連続箱桁橋	33.500+33.500	33.500
L 橋	3 連続合成桁橋	35.900+35.200+34.300	106.200
M 橋	5 径間連続箱桁橋	38.628+53.940+53.939+54.708+36.436	237.650

5.3 産地に着目した考察

建設当時の施工記録を参照し、路線別にまとめた各橋の粗骨材の産地を表 - 5 に示す⁴⁾。各橋とも施工後 30～45 年が経過しており、施工記録を確認することができたのは、C 橋、D 橋、F 橋、H 橋、J 橋、L 橋、M 橋のみであった。

表 - 5 より、II 自動車道に着目してみると、変状が確認された C 橋および F 橋において、同じ和歌山県産の粗骨材が使用されていたことがわかった。

III 自動車道に着目してみると、北部 (H 橋) では京都府北部産、南部 (J 橋) では兵庫県産の粗骨材が使用されており、先述のように各橋の粗骨材に含まれていた岩種が、北部および南部において異なる傾向にあったことと一致する。この傾向は、今回の対象橋梁以外の橋梁において、粗骨材の産地を調査した結果においても同様であった。

表 - 5 各橋の粗骨材の産地

路線名	橋梁名	コンクリート数量 (m ³)	粗骨材		主な岩種
			産地	種別	
II 自動車道	C 橋	4938	和歌山県打田町	碎石	砂岩 (84.9%)
	D 橋	5752	兵庫県赤穂市	碎石	溶結凝灰岩 (95.2%)
	F 橋	不明	和歌山県紀ノ川	川砂利	砂岩 (88.4%)
III 自動車道	H 橋	938	京都府舞鶴市	碎石	玄武岩類 (95.4%)
	J 橋	494	京都府福知山市由良川	川砂利	
IV 自動車道	L 橋	3205	兵庫県赤穂市	碎石	デイスাইト～安山岩 (53.3%)
					凝灰岩 (26.7%)
V 自動車道	M 橋	4605	兵庫県神崎郡	碎石	砂岩 (11.7%)
					安山岩 (53.0%)
					珪化凝灰岩 (27.5%)
					砂岩 (72.0%)
					凝灰岩 (18.3%)

変状が確認された IV 自動車道の L 橋および変状が確認されなかった II 自動車道の D 橋の粗骨材の産地 (兵庫県赤穂市) が一致していた。両橋の粗骨材に含まれている岩種は、L 橋が安山岩、D 橋が溶結凝灰岩であり、両者は相異していたことから、この結果については疑問が残る。そこで、当時の施工記録をさらに調査したところ、D 橋に対して高流動コンクリートを採用する際に、比較的硬質の骨材を選定した経緯があることが分かった。また、西日本高速道路 (株) 関西支社管内において、兵庫県赤穂市産の骨材を使用した橋梁の一覧を表 - 6 に示す。N 橋、O 橋および P 橋に関する変状の有無については、過年度の実施した詳細点検報告を参照した。表 - 6 を見てみると、5 橋において変状が確認されたのは、L 橋のみである。また、D 橋において比較的硬質の溶結凝灰岩が多く含まれ、L 橋においても珪化凝灰岩が 27.5% を占めていた。兵庫県赤穂市内

(赤穂郡を含む) には 4 箇所の採掘所があり、どの橋梁にどの採石場の粗骨材が使用されたかはわからないが、当該地域内には二つの地質帯があり、それぞれ異なる岩種から構成されている⁵⁾。このことから、安山岩を多く含んだ粗骨材を使用した橋梁において変状が発生し、溶結凝灰岩などを含んだ橋梁において変状が発生しなかったと推測する。

表 - 6 粗骨材が同一産地 (兵庫県赤穂市) の橋梁

路線名	橋梁名	コンクリート数量 (m ³)	変状の有無	主要な岩種	備考
II 自動車道	D 橋	5 752	無	溶結凝灰岩	調査済
	N 橋	1 511	無	不明	未実施
	O 橋	2 361	無	不明	未実施
IV 自動車道	L 橋	3 205	有	安山岩、珪化凝灰岩	調査済
	P 橋	1 358	無	不明	未実施

6. まとめ

本調査から得られた知見を以下に記す。

- (1) 変状が顕在化したコンクリート橋において、変状を誘発する可能性がある粗骨材が使用されている可能性が高いことが分かった。
- (2) 変状を誘発する可能性がある骨材が使用されていたとしても、支間長等の要因によっては、必ずしも変状が発生するとはかぎらない。
- (3) 路線または地域ごとに、同様の骨材が使用されている傾向があることが分かった。
- (4) 同じ地域内の産地であっても、砕石場が異なれば、岩種の異なる粗骨材が使用される可能性がある。

なお、本調査の対象橋梁数は 13 橋であり、より正確な情報を得るためには、さらにデータ数を増やしていく必要がある。よって、今後も当該調査を継続していく予定である。

謝辞

本報告を取りまとめるあたり、ご協力いただいた (株) 中研コンサルタントの茨木柚季氏、野村技術研究所の野村勝義氏に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 第二阪和国道の橋梁損傷対策検討特別委員会報告書：公益社団法人土木学会、2008.3
- 2) 小山田哲也、小田島悠弥、越谷 信、藤原忠司：コンクリートの乾燥収縮に対する石灰石骨材の有効性、コンクリート工学年次論文集、Vol.32, No.1, pp.359-364, 2010.7
- 3) 迫田恵三、丸 章夫、伊藤利治：粗骨材中のモンモリロナイトがコンクリートの諸性質に及ぼす影響、土木学会論文集、第 246 号 / V -14, 1991.2
- 4) 西日本高速道路 (株) 関西支社：試験課品質管理報告書 (資料編) コンクリート試練り結果一覧表
- 5) 小村良二：近畿 (周辺) 地域の砕石資源、地質ニュース 554 号、pp.30-38, 2000.10

【2021 年 2 月 4 日受付】