

プレテン桁に発生した ひび割れ原因の特定



(株) 帝国設計事務所 技術第一部
山口 昌 克

1. はじめに

竣工後 33 年を経過したプレテンション方式 PC 単純中空床版桁（以下プレテン桁）下面に、最大 $W=0.4\text{ mm}$ のひび割れが橋軸方向に顕著に発生していた。私は調査・診断責任者として、今後発注予定である補修設計に向けて、ひび割れ原因を究明するための詳細調査の提案・実施、ならびにその調査から得られた結果を基に原因を診断し特定した。

橋梁概要を以下に示す。

- ・竣工年月日 昭和 59 年 10 月（経年 33 年）
- ・構造形式 プレテンション方式 PC 単純中空床版桁
- ・橋梁規模 橋長 $L=21.500\text{ m}$ 全幅員 $W=15.000\text{ m}$
- ・架橋環境 内陸積雪寒冷地（融雪剤散布路線）
- ・交差条件 河川橋
- ・損傷概要 プレテン桁下面に橋軸方向のひび割れ
ひび割れ幅 $0.1\text{ mm}\sim 0.4\text{ mm}$
著しい進展はなし（定期点検結果より）
河川の湿気により桁下は湿潤状態

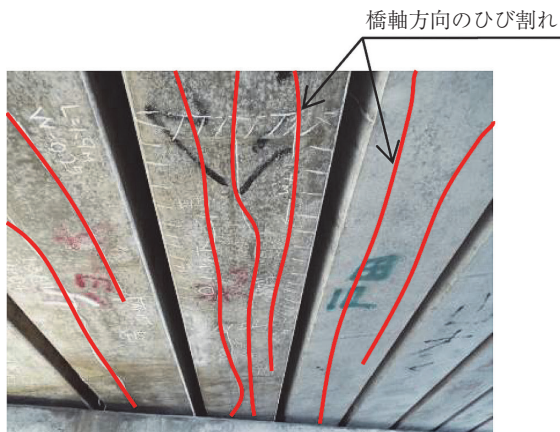


写真 - 1 桁下面ひび割れ状況

2. 詳細調査の提案・実施

2.1 調査概要

ひび割れ発生位置がプレテン桁下面であり、ひび割れ方向が橋軸方向（PC 鋼材方向）であるため、耐荷力不足による構造的なひび割れは原因として考えにくい。したがって、経年劣化およびコンクリート材料（以下 Con 材料）に着目した詳細調査を提案・実施した。

2.2 経年劣化に着目した詳細調査の提案・実施

経年 33 年の橋梁であるとともに、融雪剤散布路線であることから以下に示す詳細調査を提案・実施した。なお、試験および試料採取はプレテン桁であることを配慮しドリル法にて行った。

- 1) 塩分含有量試験（ドリル法）
- 2) 中性化深さ試験（ドリル法）

2.3 Con 材料に着目した詳細調査の提案・実施

ひび割れは、プレテン桁の橋軸方向（PC 鋼材方向）に顕著に見受けられ、河川の影響による水分供給も見受けられることから、ひび割れの原因として第一にアルカリ骨材反応（以下 ASR）が疑われた。しかし、近年 ASR 以外の原因も報告されていることを踏まえ、以下に示す詳細調査を提案・実施した。なお、試料採取は PC 鋼材、鉄筋に損傷を与えないようはつり法にて行った。試験用コンクリート片（以下試験片）を写真 - 2 に示す。

- 1) 偏光顕微鏡観察（粉末 X 線回折含む）による反応性骨材の有無
- 2) 走査型電子顕微鏡（以下 SEM）・エネルギー分散型 X 線装置（以下 EDS）による生成物の形態観察・化学組成分析
- 3) 偏光顕微鏡観察（粉末 X 線回折含む）によるセメント硬化体組織および構成物質



写真 - 2 試験用コンクリート片

3. 詳細調査結果および診断

3.1 経年劣化に着目した詳細調査結果および診断

(1) 塩分含有量試験

プレテン桁下面より $0\text{ mm}\sim 20\text{ mm}$ 、 $20\text{ mm}\sim 40\text{ mm}$ の 2 試料×3 試験を実施し、塩分含有量はいずれも 0.05 kg/m^3 以下であった。発錆限界値 1.2 kg/m^3 を大幅に下回り、錆汁などの外観も見受けられないことから、塩害によるひび割れではないと診断した。

(2) 中性化深さ試験

プレテン桁下面の 3 試料に対して試験を実施し、中性化深さはいずれも 1 mm 以下であった。現在から鋼材位置までの劣化進行予測は 100 年以上あり、錆汁などの外観も見受けられないことから、中性化によるひび割れではないと診断した。

3.2 Con 材料に着目した調査結果および診断

(1) 偏光顕微鏡観察（粉末 X 線回折含む）

骨材には砂岩、チャート、頁岩が多く含まれ、その中には、反応性シリカ鉱物として微小石英、カルセドニーが多く含まれていた。（表 - 1）ただし、砂岩および頁岩に含

まれる微小石英は、過去に生じた熱変成の影響を受け結晶が粗粒化しており、アルカリとの反応性は小さいものと診断した。また、ASR 以外のコンクリートに有害な劣化を引き起こす可能性のある鉱物として、不透明鉱物である硫化鉄の黄鉄鉱（Pyrite FeS₂）が安山岩に中量含まれていた。黄鉄鉱が存在すると、水酸化カルシウムと水の存在により膨張を伴う化学反応を起こし、ひび割れ、ポップアウトの原因になり得る。しかし、安山岩はごくわずかしが含まれておらず、試験片からは、黄鉄鉱によるような劣化は見受けられなかった。

表 - 1 粗骨材の岩石鉱物学的試験一覧表

薄片 No.	岩石名	顕微鏡 X線	組成鉱物											反応性シリカ 鉱物
			Qz	Pl	Kf	Cp	Bi	Mu	Mi	Ch	Ca	CT	Oq	
1	粗粒玄武岩	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
2	珪質質岩	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	MQ・Chl○
3	3-1 中粒砂岩	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	MQ○
4	3-2 チャート	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	MQ○
5	4 中粒砂岩	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	MQ・Chl○～○
6	5 安山岩	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CT○

相対的な量の目安
 ●：非常に多量
 ○：多量
 ○：中量
 △：少量
 ▼：僅か

凡 例
 Qz：石英
 Pl：斜長石
 Kf：アルカリ長石
 Cp：単斜輝石
 Bi：黒雲母
 Mu：白雲母
 CT：クリストパライト or トリディマイト
 Mi：雲母類
 Ch：緑泥岩
 Ca：炭酸塩鉱物
 Oq：不透明鉱物
 MQ：微小石英
 Chl：カルセドニー

(2) SEM・EDS による生成物の形態観察・化学組成分析

さらに詳しく骨材破面上に付着した物質の観察を行った結果、表面が凹凸状の形状をなす物質が確認された。（写真 - 3）この形状は ASR に起因する物質のいずれの形状にも類似しないことが判明し、(1) 偏光顕微鏡観察結果（粉末 X 線回折含む）と含めて、ASR に起因するひび割れではないと診断した。

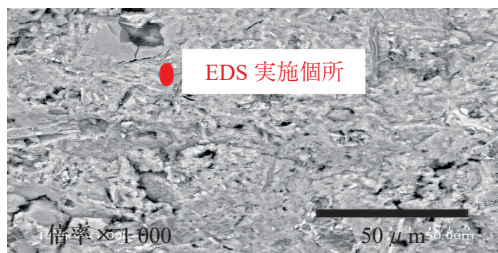


写真 - 3 SEM 観察箇所

(3) 偏光顕微鏡観察（粉末 X 線回折含む）によるセメント硬化体組織および構成物質

セメント硬化体組織として、硬化体にはセメントクリンカー鉱物および水和物の微細な結晶を多く確認した。これらの物質を特定する目的で粉末 X 線回折を行った結果を表 - 2 に示す。これによるとセメント水和物としてポルトランドイト〔水酸化カルシウム・Ca(OH)₂〕が非常に多く含まれており、ひび割れ原因として報告例のある蒸気養

生を受けた PC 部材などで認められる DEF（遅れエトリンガイト）はわずかに含まれる程度であった。

本コンクリート中には、セメント水和物の一種であるポルトランドイトがセメント硬化体組織全体に過剰ともいえるほど密に分布し、（写真 - 4）コンクリートを膨張させている可能性が非常に高いことが判明した。

このことから、プレテン桁下面におけるひび割れ発生の主要原因の一つとして、ポルトランドイトの大量生成の可能性が高いと診断した。

表 - 2 セメント硬化体の粉末 X 線回折結果

試料名	骨材由来					セメント由来					備考
	Qz	Fl	Am	Mi	Ch	Ca	Et	Po	CS	MS	
セメント硬化体	○	△	○	△	▼	△	▼	○	▼	▼	

相対的な量の目安
 ○：多量
 ○：中量
 △：少量
 ▼：僅か

凡 例
 Qz：石英
 Fl：長石類
 Am：角閃石類
 Mi：雲母類
 Ch：緑泥石
 Ca：炭酸塩鉱物
 Et：エトリンガイト
 Po：ポルトランドイト
 CS：セメント鉱物
 MS：セメント水和物

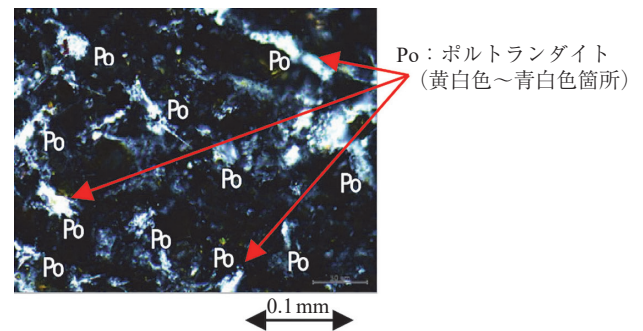


写真 - 4 セメント硬化体微細組織（Po 着目）

4. おわりに

今回行った詳細調査結果より、プレテン桁下面におけるひび割れ発生の主要原因は、ポルトランドイトの大量生成による膨張の可能性が高いことが判明した。このひび割れの発生時期は、水和反応が盛んであるプレテン桁製作時、あるいは何らかの原因によりそれ以降と推測される。ひび割れの進行状況は、5 年ごとの定期点検結果からは、著しい進展は見受けられていない。

調査計画の段階では、損傷部材が二次製品であるプレテン桁であったことから、近年報告例もある DEF（遅れエトリンガイト）を主眼とした詳細調査として、セメント硬化体組織および構成物質に着目したことにより、ポルトランドイトの大量生成を確認したものであった。今後、このような損傷事例における詳細調査の提案・実施においては、セメント硬化体組織および構成物質に着目することも重要と考える。

【2018 年 4 月 23 日受付】