

鉄筋破断が発生したフーチングの ASR 劣化度調査

金沢大学工学部 西川 元気
東京コンサルタンツ (株) 湊 俊彦
石川県道路公社 宮村 雅之
金沢大学大学院 正会員 鳥居 和之

1. まえがき

石川県の能登地方にはアルカリシリカ反応 (ASR) による劣化を受けた構造物が多く存在する。これらの構造物の中で、能登有料道路の ASR 劣化構造物 (橋梁、トンネルなど) は、10 年ほど前から対策が実施され、構造物の補修・補強が逐次行われてきた。能登有料道路における橋梁の建設時期は、能登半島北部で産出する安山岩がコンクリート用砕石として流通した昭和 40 年代後半から 50 年代に集中しており、建設後 30 年が経過した現在では、コンクリートの強度低下、剥離・剥落、橋脚や橋台における鉄筋破断などの重大な ASR による損傷が発生している。

一方、2007 年 3 月 25 日に発生した最大震度 6 強の能登半島沖地震を受け、復旧工事の一環として能登有料道路の山間部に位置する、ASR 対策がなされていない橋梁 10 橋において耐震補強工事が実施されている。その耐震補強工事における橋脚周囲の掘削の際、フーチングにおいて ASR による鉄筋破断をとまなう顕著な割れが発見された。フーチングの ASR による損傷事例はこれまでも能登有料道路において 2 例確認されていたが、詳細な調査は行われておらず、ASR による劣化のメカニズムは未だ解明されていない点が多い。

本研究では、能登有料道路における ASR 劣化フーチングの ASR 劣化度および破断鉄筋の調査を行うとともに、フーチングから採取したコアの圧縮強度と静弾性係数の関係について検討したものである。

2. フーチングにおける鉄筋破断の特徴

能登有料道路における ASR 劣化フーチングの調査結果を表-1に示す。全ての橋梁において、セメントは普通ポルトランドセメント、反応性骨材は安山岩 (両輝石安山岩) の砕石が使用されていた。また、フーチングは土中部に位置するため、柱部、梁部とは使用・環境条件が異なり、温度変化や凍結防止剤等の影響は受けにくい、常に土中水や河川水が供給されるという特徴があった。従って、一旦 ASR が発生すると、コ

ンクリートの割れに水が浸透することにより、コンクリートの内部組織自体が破壊される危険性がある。実際、今回調査を行ったすべてのフーチングにおいて、ASR による顕著な割れと鉄筋破断が発生していた。割れの幅は最大で 100mm 以上もあり、割れから内部の鉄筋を確認できるものもあった。鉄筋破断の箇所に関しては、E 橋、F 橋を除いてテーパーに沿った側における橋軸方向上面主鉄筋 (曲げ加工部) が破断しており、側方から躯体内部に向かって割れが発生していた。この原因として、フーチング内部において発生した ASR による膨張圧が、鉄筋比の小さい躯体表面上部に作用したこと (図-1参照)、テーパー部の施工の際に型枠を組まずコンクリートを流したため、材料分離が生じ、低品質のコンクリートが打設されたこと、などが挙げられる。また能登有料道路のフーチングにおいては、反応性骨材や使用・環境条件だけではなく、配筋の問題 (定着長不足や配筋不良) による影響も明らかとなった。A 橋においては、橋軸方向上面主鉄筋が橋軸直角方向正面鉄筋の内側で曲げ加工されていたために、内部からの膨張圧を抑制することができず、躯体側面に剥離が生じていた。また、D 橋、F 橋においては、橋軸方向上面主鉄筋がフーチング下部まで定着されていないために、定着部のすぐ下に水平の割れが生じていた (写真-1参照)。



写真-1 フーチングに発生した定着長不足による割れ

表-1 ASR 劣化フーチングの調査データ一覧

橋梁名	f_c (N/mm ²)	使用セメント※	反応性骨材※※	使用環境条件	鉄筋の破断箇所	捨て コンクリート	耐震補強工法
A	21	OPC	安山岩	土中水	橋軸方向上面主鉄筋(配筋不良)	有り	RC 巻立て工法
B	21	OPC	安山岩	土中水	橋軸方向上面主鉄筋	無し	RC 巻立て工法
C	21	OPC	安山岩	土中水	橋軸方向上面主鉄筋	有り	PC 巻立て工法
					橋軸直角方向上面主鉄筋		
					側面鉄筋		
D	24	OPC	安山岩	土中水	橋軸方向上面主鉄筋(定着長不足)	有り	RC 巻立て工法
E	24	OPC	安山岩	河川水	橋軸直角方向上面主鉄筋	無し	PC 巻立て工法
F	21	OPC	安山岩	土中水	曲げ加工部無し(定着長不足)	無し	PC 巻立て工法
G	24	OPC	安山岩	河川水	橋軸方向上面主鉄筋	無し	構造変更(橋脚+橋台)

※OPC:普通ポルトランドセメント ※※能登産安山岩碎石(反応性)と能登産川砂, 山砂(非反応性)を使用している

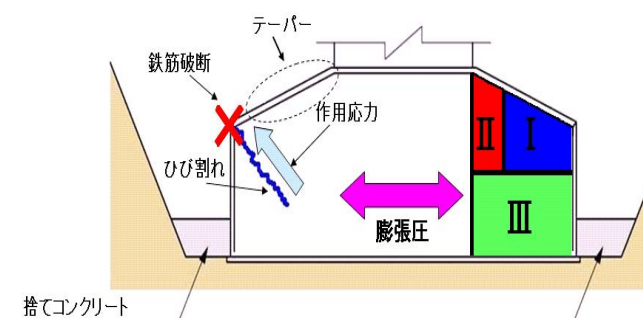


図-1 フーチングのASR膨張と鉄筋破断の模式図

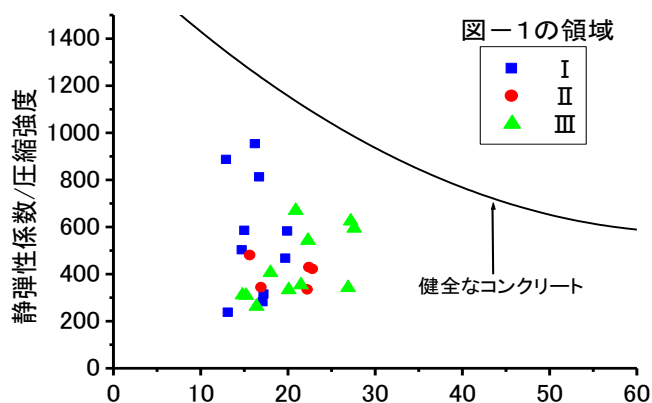


図-2 コアの圧縮強度と静弾性係数の関係

3. フーチングから採取したコアの力学的性質

フーチングから採取したコアの圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度比の関係を図-2に示す。この図において、健全なコンクリートを示す曲線から外れて、プロットが原点に近づくにつれてASRによる損傷度が大きいものと判断される。またグラフにおけるプロットは、図-1におけるコア採取位置(領域)I, IIおよびIIIと対応している。領域I(躯体上部)におけるテーパ一部では、前述のように、材料分離が生じた締固め不十分なコンクリートが打設されていることや、鉄筋破断による拘束効果の減少などの理由により、コンクリートが脆弱化しており、圧縮強度は設計基準強度を大きく下回った。領域II(柱基部付近)およびIII(躯体下部)では、静弾性係数は大きく低下しているが、圧縮強度の低下は比較的小さかった。これは、下部の主鉄筋や側方の捨てコンクリートによって、ASR膨張が拘束されるためであると考えられる。補強設計において、領域IIおよびIIIにおける圧縮強度は、それぞれせん断耐力および曲げ耐力を算定する際に重要である。そのため、両領域における圧縮強度の低下は、フーチング全体としての構造耐力の低下を意味するので、補強設計において注意が必要となる。

4. 補修・補強工法の選定

フーチングは基礎構造物であり、橋脚の全荷重を受け持っているため、フーチングの躯体全体を打替えることは不可能である。すなわち、基礎の供用性を確保した状態での補強工法を選択する必要がある。そのため、今回の能登有料道路におけるフーチングの補修・補強工事では、鉄筋の継足し(添え筋)、断面修復工、防水処理工、部分的な打替え、などの補修・補強工法が選定された。また、耐震補強工法として、ASRによる損傷が比較的軽微な場合は、経済性を考慮した一般的な補強工法であるRC巻立て工法が、連続した割れが見られる場合は、コンクリートと鉄筋の付着損失が生じている可能性が高いため、躯体内部にプレストレスを与えるPC巻立て工法が、それぞれ柱部の耐震補強工法として採用された。

5. まとめ

基礎などの地中構造物の場合、目視による点検は不可能であり、梁部・柱部などの地上部と比べて維持管理が難しい。また、地下水の影響で地上部よりもASR劣化が激しくなり、再劣化を生じる危険性もあるために、既設構造物の補強後には、モニタリングによる維持管理が不可欠であると考えられる。