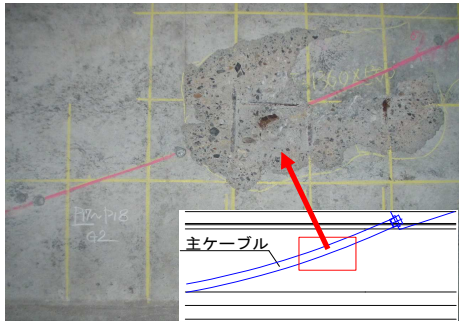


3. 橋梁点検および詳細調査

3. 1 橋梁点検

本工事では、補強工開始前に補強工用の足場を利用し施工区間の橋梁点検（目視確認、たたき点検）を行った。その結果、湖上部の一部の径間の主桁ウェブ部において、上縁定着された主ケーブルに沿ったコンクリートの浮きが確認された（写真－1）。そこで、小径ドリルによりウェブを削孔し、CCDカメラにて内部状況を確認した結果、鋼材腐食の可能性が高いことが判明した。よって、変状をより詳細に把握するため一部はつり調査を実施したところ、グラウトの未充填および主ケーブルの腐食、破断が確認された（写真－2）。



写真－1 コンクリートの浮き



写真－2 主ケーブルの腐食・破断

3. 2 詳細調査

(1) グラウト充填度調査手法の選定

橋梁点検の結果、上縁定着された主ケーブルのグラウト未充填が懸念されたため、他径間も含めグラウト充填度調査を行うこととした。

本工事におけるグラウト充填度調査の選定においては、大きく3つの条件が考えられた。その条件は、1)耐荷力低下が懸念される主桁の調査に伴う損傷を最小限にすること、2)調査作業箇所は足場上での作業となるため狭小空間での施工性に優れること、3)径間数が多く調査箇所数が膨大であるため簡易に調査結果を得られることである。そこで、削孔調査、X線透過法、さらに、コンクリート内部空洞を評価する手法の一つであるインパクトエコー法（以下、IE法）について比較を行った。

削孔調査は、部材およびシースを削孔し、内部の状況を直接目視にて確認する手法であることから、精度の高い調査結果を得られる。しかし、グラウトが健全な状態で充填されている箇所についても、削孔を行わないと内部の状況を確認できないため、健全な部位にも損傷を与えることとなる。また、PC鋼材の損傷を回避し削孔を行う必要があるため慎重な作業が求められ、調査に時間を要する。

X線透過法は、非破壊にてコンクリート内部状況を画像により確認できる。ただし、本調査の調査対象箇所は、部材厚約400mmを有し、1箇所の測定に1時間以上要するうえ、測定対象は250mm×250mmの範囲に限定されることから、調査対象箇所を全て調査するには多大な時間を要する。また、測定機器の重量が大きく、足場上での作業性に劣る。

IE法は、コンクリート表面に入力した弾性波により、非破壊にてコンクリート内部の空洞を確認できる。また、測定機器が小型であり測定結果をリアルタイムに確認できるため、作業性に優れる（写真－3）。ただし、グラウト充填度調査への適用例は少ない。

以上の各種グラウト調査手法を比較した結果、本調査では、非破壊かつ迅速に広範囲の調査が可能なIE法を採用することとした。IE法は、コンクリートの内部空洞調査に用いられる手法であり、コンクリート表面を打撃したうえ、部材端や内部空洞において反射した弾性波を入力位置近傍に設置したセンサで受信し、計測された変位波形の周波数応答特性の違いにより判断する（図－3）。グラウトが充填されている場合に得られた周波数スペクトルは、コンクリートの部材厚によるピーク周波数 F_t

が出現する。これに対し、グラウトが未充填の場合は、ピーク周波数 F_t に加えシース管内部の空洞での反射によるピーク周波数 F_v が出現する。

本調査では、この内部空洞調査手法をグラウト充填度調査に適用し、周波数応答特性の違いにより、「充填：○」、「充填不良の疑い：△」、「充填不良の可能性大：×」の3段階評価を行った。



写真-3 インパクトエコー測定状況

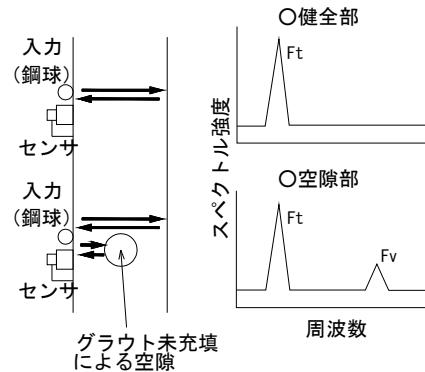


図-3 充填状況が異なる場合の周波数応答特性の違い

(2) グラウト充填度調査箇所

グラウト充填度調査は、上縁定着された主ケーブルを対象に、ケーブルの曲げ上げ部（起点、終点両側）で、3箇所ずつ実施した。当該箇所は、橋梁点検においてグラウト未充填が確認された箇所であり、グラウトがブリーディングや収縮、残留空気等の影響によって最も充填不足を生じやすい箇所である。測定位置図を図-4、調査箇所数一覧表を表-2に示す。

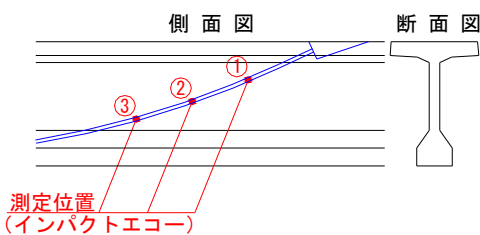


図-4 測定位置

表-2 調査箇所数

桁	本数	1径間当り	5本
上縁定着主ケーブル本数		1径間当り	外桁4本 中桁3本(1径間当り17本)
調査箇所数	インパクトエコー法	全径間 (調査対象16径間)	544箇所(17本×16径間×2起・終点両側)
	削孔調査		443箇所*

*インパクトエコー法によりグラウト充填度が「×：充填不良の可能性大」または「△：充填不良の疑い」と評価された主ケーブルの削孔箇所数を示す。

(3) グラウト充填度およびPC鋼材腐食度調査結果

IE法によるグラウト充填度調査の結果、調査対象全544箇所に対し、19%が「充填」、13%が「充填不良の疑い」、68%が「充填不良の可能性大」という結果を得た(図-5)。

「充填」と判断された箇所については、数箇所の削孔確認によりIE法による調査結果の妥当性が確認されたため、それ以上の箇所の削孔は行わないこととした。これにより、耐荷力低下が懸念される既設主桁の削孔箇所数を最小限に留めることができた(表-2)。

「充填不良の疑い(71箇所)」もしくは「充填不良の可能性が大(372箇所)」と判断された全443箇所については、削孔調査を行った。その結果、充填不良箇所は295箇所であり、IE法の精度は約7割程度と、非破壊検査としては十分な値を示した(図-5, 6)。

PC鋼材の腐食度は、「土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]」に従って判定を行った。当示方書には鋼材破断の定義が存在しないため、破断が確認された鋼材についてはグレード「V」と新たに定義した(表-3)。調査の結果、12箇所で鋼材の断面欠損、破断が確認された(図-7)。鋼材の断面欠損もしくは破断が確認された主桁の多くは、橋面の横断勾配が低い位置にあたるG2桁およびG5桁であった。これは、主ケーブルを上縁に定着するための切欠き部から塩化物イオンを含む橋面水などの劣化因子がシース内に浸透したことが鋼材の劣化に繋がった可能性があると推測される。

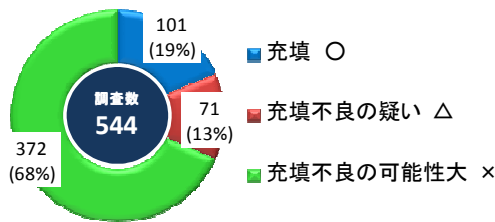


図-5 インパクトエコー調査結果

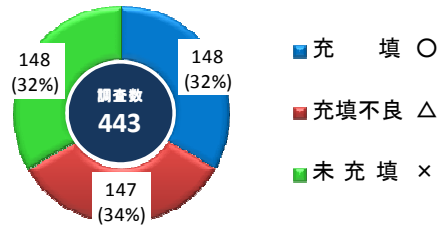


図-6 削孔調査結果

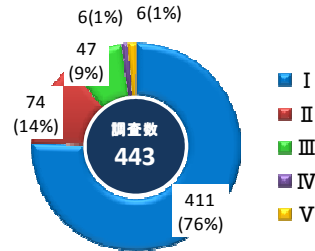


図-7 PC鋼材腐食度調査結果

表-3 鋼材腐食グレードとその状態

腐食グレード	鋼材の状態
I	黒皮の状態、またはさびは生じているが全体的に薄い機密なさびであり、コンクリート面にさびが付着していることはない。
II	部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。
IV	断面欠損が生じている。
V	鋼材の破断。

4. 主桁の補強 (主ケーブル破断に対する補強設計・施工)

本橋はB活荷重対応を目的とし、外ケーブル補強量が決定していたが、主ケーブルの破断もしくは腐食グレードIVと判断されたPC鋼材を有する主桁を対象に外ケーブル補強量の見直しを行った。ここで、本橋は格子構造にて、主ケーブルの破断によるプレストレス量損失の影響は、破断が確認された主桁のみに生じるのではなく他の主桁へも影響を及ぼすと考え、立体FEM解析により影響度合いを算出した。立体FEM解析結果より、主ケーブルが1本破断したときの他の桁へのプレストレス損失量の影響度合いを図-8に示す。

その結果、一部外ケーブルの鋼材径を大きくすることによって (7×φ12.4を7×φ15.2に変更) 対応した。

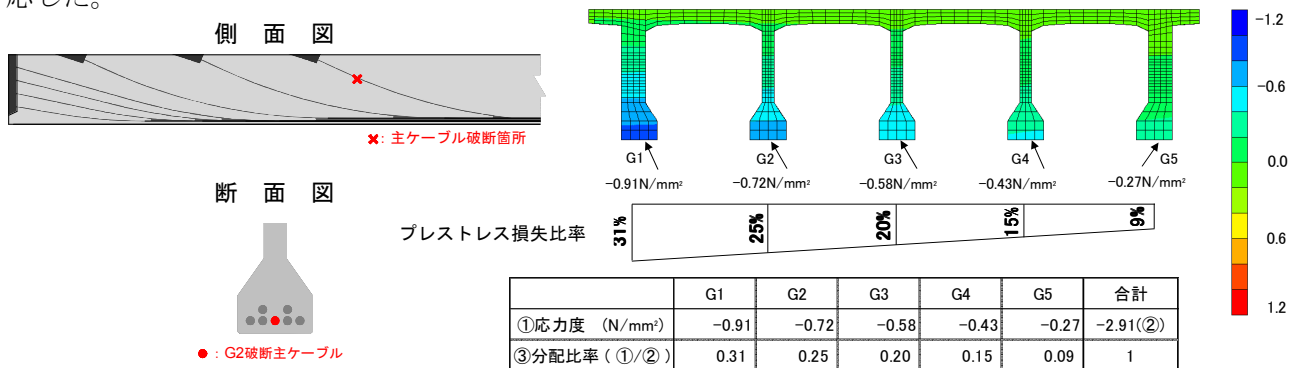


図-8 G2桁の主ケーブル (1/7本) 破断によるプレストレスの損失量

5. おわりに

非破壊かつ作業性に優れるIE法の採用により、耐荷力の低下が懸念される主桁への損傷を最小限にし、限られた作業空間内で膨大な対象箇所の調査を敏速に行うことができた。また、調査結果を踏まえ、主ケーブルの断面欠損・破断が確認された主桁は、外ケーブル補強量を見直し、耐荷力を確保した。さらに、グラウト未充填部は、将来的な再劣化防止を目的とし、グラウトに防錆効果を有する亜硝酸カルシウムを添加し、グラウト再注入を行った。

最後に、本橋の施工に際し、ご指導、ご協力を賜りました関係各位に厚く感謝の意を表するとともに、本報告が今後の補修・補強工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- (社) 土木学会：コンクリート標準示方書 維持管理編 2007年制定
- 渡邊他：藤木新橋の外ケーブル補強工事について、第15回プレストレストコンクリートの発展に関するPCシンポジウム論文集、平成18年10月