

国道 18 号 旧妙高大橋の管理

大日本コンサルタント (株)

○大谷拓矢

大日本コンサルタント (株) 正会員

登石清隆

大日本コンサルタント (株)

杉野 亨

北陸地方整備局高田河川国道事務所

加藤秀樹

1. はじめに

旧妙高大橋は昭和47年にプレキャストセグメントカンチレバー工法によって架設されたPC4径間連続箱桁橋である(図-1)。平成21年度の橋梁補修工事の際に、第1径間中央で9本のPCケーブル破断が確認され(写真-1)、その後の検討で架替え方針となり、架替えまでの間「維持管理マニュアル」を作成し、モニタリングなどの対応を継続してきた(表-1)。

本稿では、これまでに得られた計測結果や詳細解析結果にもとづく管理状況などについて報告する。

2. PCケーブル詳細調査

(1) 内視鏡調査

平成21,22年度の調査で、全PCケーブル504本のうち調査可能な215本、約1,200箇所(約12%)の削孔内視鏡調査を実施し、グラウト不良が約6割以上あることが確認された(図-3)。このためグラウトの無い調査孔を利用して、腐食や破断の進行状況確認のため、定点観察として100~150カ所を選定し、内視鏡調査を継続した。一例を写真-2に示す。

(2) 試験体観察

内視鏡調査孔を利用して、実橋と同じ径のPC鋼材を孔内暴露試験した。ゴム栓に試験体を3本取付け(写真-3)、1年目(H25)、3年目(H27)、5年目(H29)に回収し、腐食による重量変化を測定して断面積減少量に換算した。なお変化量は腐食区間長で換算し

表-1 点検調査等実施状況 ※：頻度測定含む

点検・調査	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3
PCケーブル点検	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
载荷試験	○※	○	○		○		○※		○	○※	
橋梁定期点検		○					○			○	
第三者被害点検	○			○			○			○	
モニタリング(保守)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

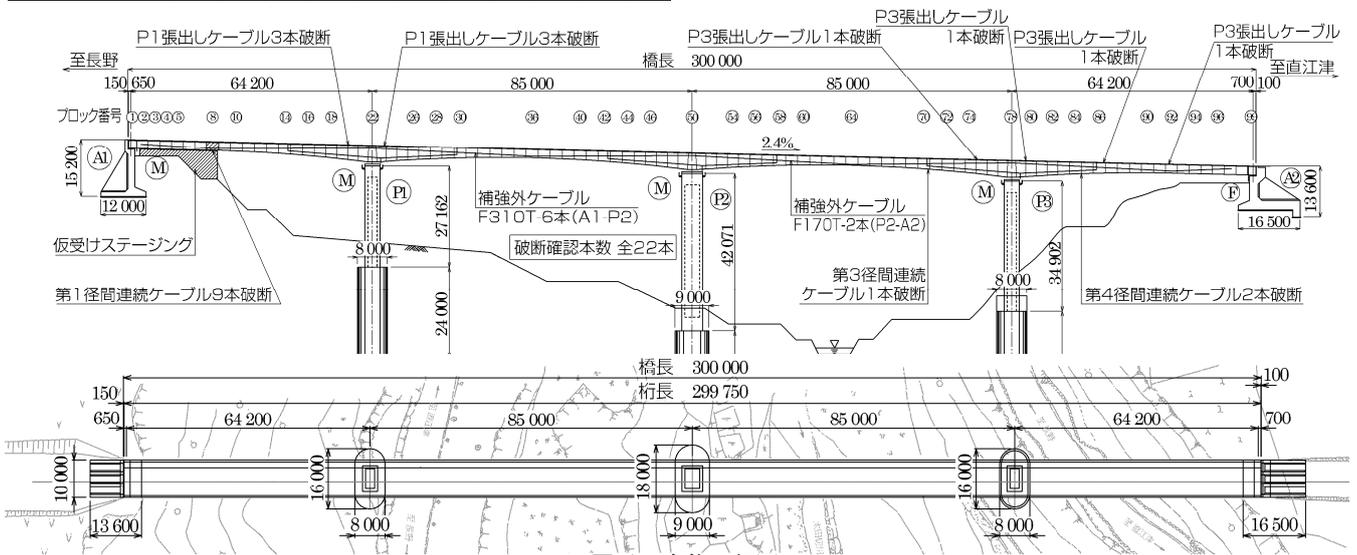


図-1 全体一般図

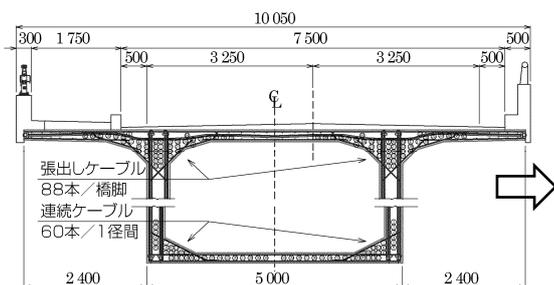


図-2 断面図



写真-1 第1径間の破断状況

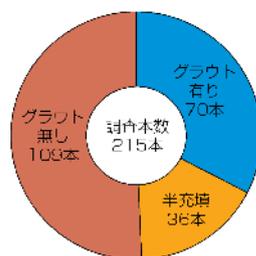


図-3 グラウト状況



写真-3 試験体状況

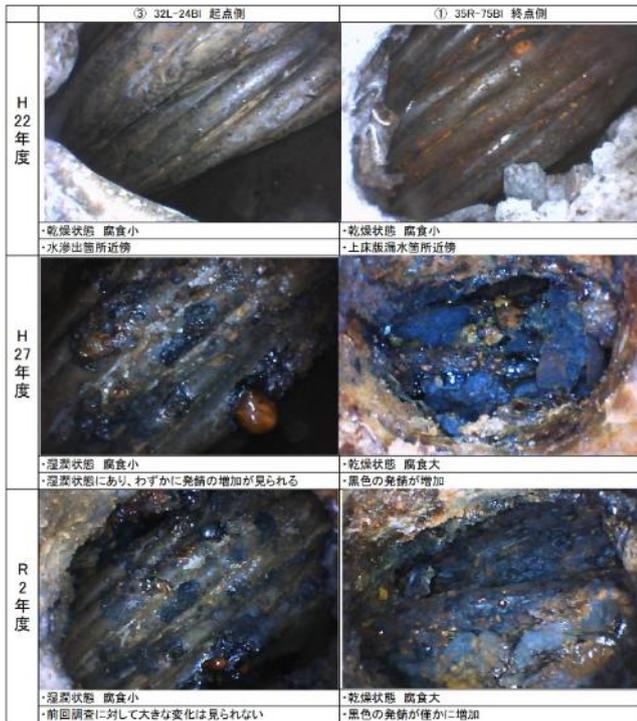


写真-2 ケーブル内視鏡調査例

た。測定結果を図-4に示す。

設置した試験体の断面積減少量は、5年間で全8カ所平均3%、腐食があった4カ所平均5%、腐食最大カ所では12%に達していた。これより平均5%/5年の腐食とすると、破断発見後(H21)から現在(R3)までの12年間で、連続ケーブルで概ね7本(全60本×5%/5年×12=7.2)、張出ケーブルで11本(全88本×5%/5年×12=10.6)に相当する断面積が減少していることになる。

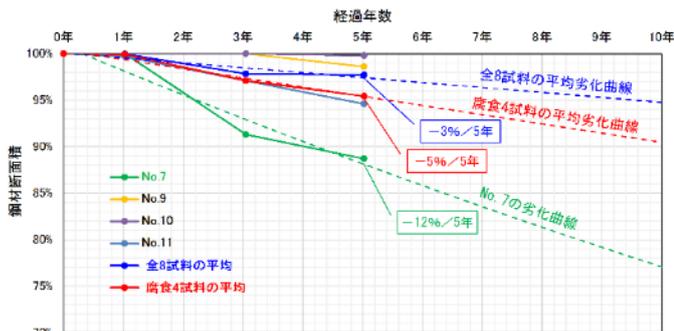


図-4 試験体の腐食進行状況

3. モニタリング

モニタリング計測機器の設置状況を図-5に示す。計測は10分間隔でありWeb上で随時確認できる。モニタリングでは管理値(閾値)を設定しており、越えた場合は、管理者等の携帯電話に警報メールが自動配信されるシステムとなっている。モニタリングを開始してからこれまでのデータ推移の一例を図-6に示す。各計測値は温度変化に合わせて変動しており、たわみは夏冬の年間で約15mm、1日で約5mm上下

動している。これは橋脚の温度変化や、上床版と箱桁下部の温度差によるものと考えられる。

また、たわみはH27~28年度以降、徐々に増加していることがわかる。なお、このたわみは、計測している水管式沈下計の特性上、水位差の収束に5~15分を要し、かつ自動計測が10分間隔のため、ほぼ死荷重状態のたわみを計測している。

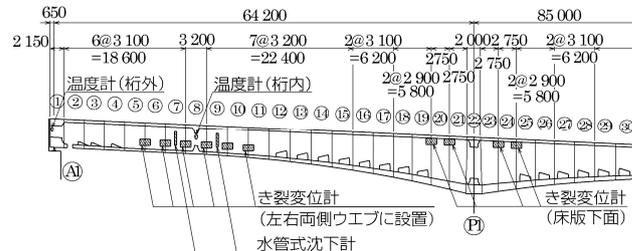
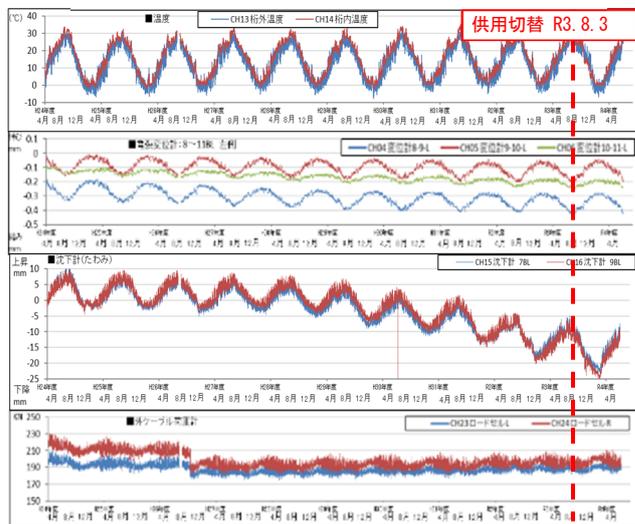


図-5 モニタリング計測機器設置図



注) R3年度の冬期は豪雪だったことに加え、交通切替えより通常除雪が無く、積雪荷重や除雪車荷重の影響が含まれる。

図-6 モニタリングの10年間の推移

4. 载荷試験

载荷試験は、平成21年の破断発見からこれまでに計9回、3日間の応力たわみ頻度測定を3回実施している。試験荷重は20t車6台計120tの静的載荷と、20t車1台の走行載荷である(図-7)。ただし令和2年度は劣化進行により、走行載荷試験のみ実施した。なお120t荷重は、TT-43トレーラーと大型車が並列で連行した際の曲げモーメントとほぼ同じで、現行道示のB活荷重曲げモーメントの約半分に相当する。120t載荷試験は第1径間と第4径間で実施しており、第1径間の120t載荷時のたわみの経年変化を図-8, 9に示す。たわみ計測値は計算値より小さく、経年劣化による変化はみられない結果となっている。これはPC鋼材の破断と腐食進行で、120t荷重時は計算の上では断面に引張応力が生じているが、曲げひび割れ発生応力以下で、全断面有効の剛性を保持しているためと考えられる。

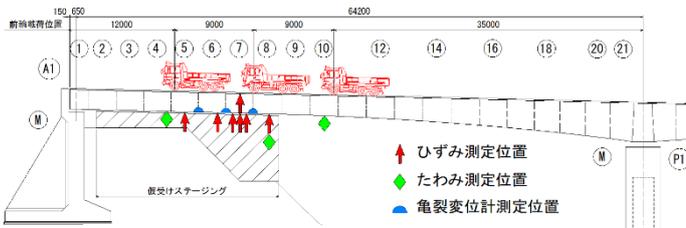


図-7 載荷試験計画側面図 (第1径間)

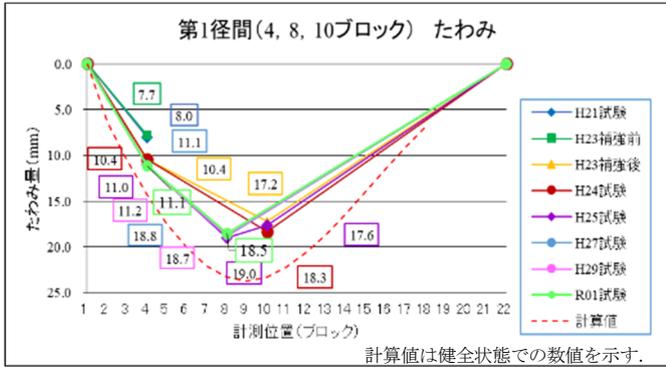


図-8 載荷試験年度別のたわみ (第1径間)

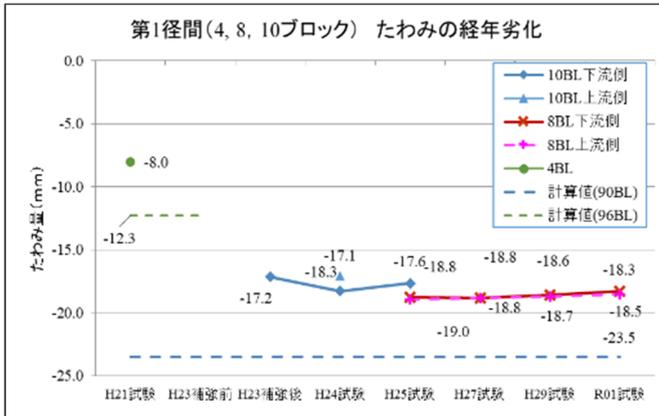


図-9 たわみの推移

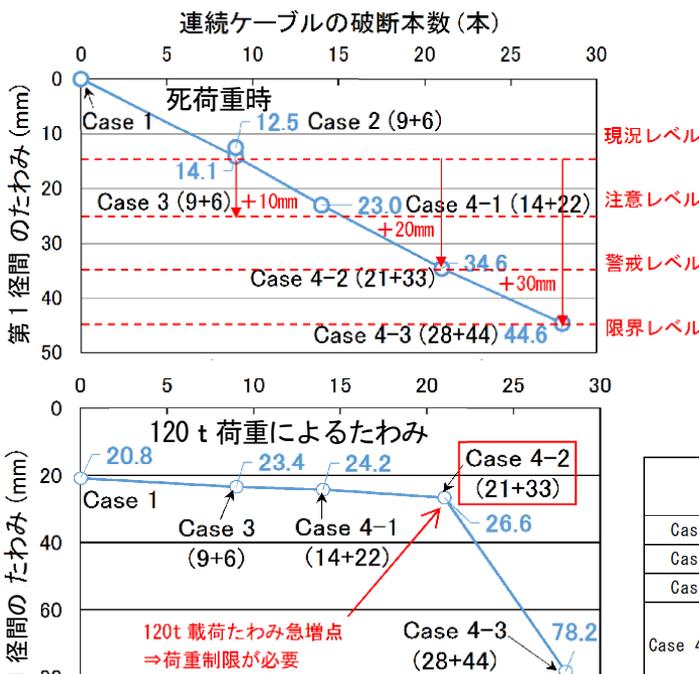


図-11 破断進行とたわみの関係図

5. 耐荷力解析

(1) 検討概要

劣化した現況と、PC鋼材が破断進行した際の耐荷性能の推移等を詳細に把握する必要があるため、腐食や破断の進行を想定し、死荷重状態と120 t 載荷試験状態についてFEM解析を実施した。解析モデルと検討ケースを図-10、表-2に示す。

解析ソフトはコンクリートのひび割れ問題を扱える ATENA-3D を用いた。解析モデルは3次元ソリッド要素で、形状やブロック間の境界条件等を忠実に再現し、PC ケーブルは詳細調査結果をもとに破断、腐食、グラウトの有無を1本ごとに考慮した。また腐食した PC 鋼材は、強度など機械的性質が低下するため、上原子らが提案した腐食 PC 鋼線の試験結果の回帰式を用いて応力ひずみ曲線を設定し、グラウト無のケーブルは付着なしとした。

(2) 破断進行とたわみの解析結果

PCケーブルの破断本数を増加させた場合の死荷重たわみと、120 t 荷重時たわみの解析結果を図-11に示す。破断が進行するとプレストレス力が失われて桁の反り上りが減少し、線形で死荷重たわみは増加する。この傾向は、当初ケーブルの約半分が破断した Case4-3でも線形増加で、死荷重状態では弾性的挙動を保持している結果となった。

120 t 荷重時たわみは、Case4-2の損傷状態を超えると桁断面の引張応力が大きくなり、ひび割れが発生し桁断面の剛性低下が生じる状態を示している。

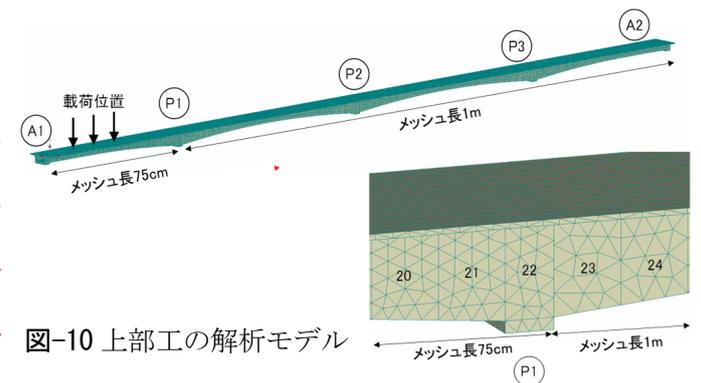


図-10 上部工の解析モデル

表-2 解析ケース一覧

Case No.	鋼材の破断本数		鋼材の損傷状況			鋼材断面積割合		
	連続 (60)	張出し (88)	破断	腐食	付着	連続	張出し	
Case 1	健全時	0	0	—	有	100%	100%	
Case 2	鋼材現況	9	6	○	—	85%	93%	
Case 3	破断時	(9+6)	(14+22)	○	○	78%	85%	
Case 4	4-1	鋼材現況	14	22	○	○	71%	71%
	4-2	進行時	21	33	○	○	61%	60%
	4-3	進行時	28	44	○	○	50%	49%

※ 付着有無は第1径間連続ケーブルのみ調査結果に基づき設定

(3) 終局時の解析結果

死荷重状態から終局状態(破壊)まで漸増載荷させた場合の荷重-たわみの関係を図-12に示す。

PCケーブルの破断進行に伴い、最大荷重とひび割れ発生荷重は低下し、現況損傷相当のCase3~Case4-1では、健全時と比較すると破断とグラウト無しにより耐荷力と変形性能は半分以下に低下していることがわかる。Case4-2では120 t でひび割れが発生してたわみが急増し、Case4-3では僅かな荷重でもたわみが急増し終局に至ることがわかった。

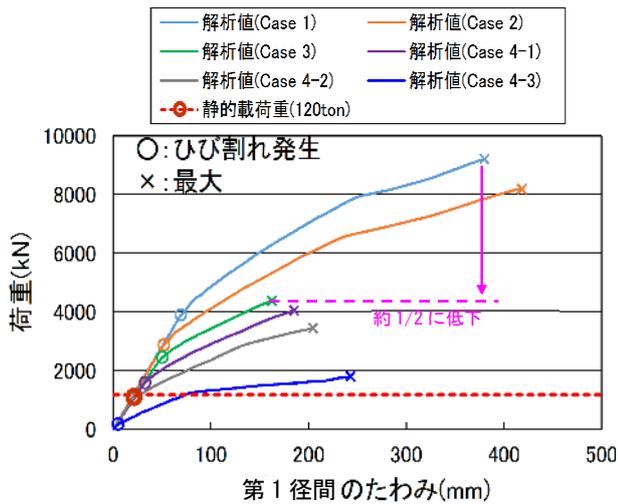


図-12 死荷重から終局までの漸増載荷時のたわみ図

6. 管理値の設定

モニタリング計測で年間の変化が明らかになり、死荷重時のたわみ等を計測していることや、FEM解析で耐荷力とたわみの関係から3段階で設定した。

図-11から120 t 荷重時たわみは、現況相当のCase3とCase4-2の差はで3mm程度の増加にとどまるが、死荷重たわみはプレストレスによる反り上り量が失われ、載荷時たわみより大きく約20mm増加する。これより管理値は、解析結果の死荷重たわみに着目することとし、120 t 荷重時のたわみが急増するCase4-2を供用判断の基準と考え、現況損傷相当のCase3から死荷重たわみ+20mm増加を荷重規制が必要な警戒レベルとした(表-3)。

表-3 モニタリング管理レベルと対応一覧表

管理レベル	概要	主な対応
注意レベル	通常供用において注意が必要なレベル。 【たわみ+10mm以上】※	<ul style="list-style-type: none"> 速度規制、車間確保誘導 冬期除雪の徹底 モニタリング等監視頻度強化 特車重量の引き下げ
警戒レベル	耐荷力低下が懸念され、安全対策が必要なレベル。 【たわみ+20mm以上】	<ul style="list-style-type: none"> 片側交通規制 監視頻度強化 限界レベル対応の準備
限界レベル	荷重制限が必要なレベル 【たわみ+30mm以上】	<ul style="list-style-type: none"> 大型車通行止め、乗用車片交 監視頻度強化

※たわみ+〇mmはH24年度の計測値を基準とし、温度変化を考慮し夏期と冬期に分けて管理値を設定。

7. 劣化進行期の管理

H28年頃から沈下計のたわみ計測値が低下し始めた。図-13は、年度毎の最大最小値をH24年度との差で示した図である。H28年度以降、たわみの増加は顕著になり、R元年度に注意レベル段階に入った。たわみ増加を近似式で予測した結果、R3年度には警戒レベルに達することが想定された。この劣化進行の傾向は、亀裂変位計の分析結果や、第3径間に新たなPCケーブル破断が生ずるなど、橋全体に見られるようになった。このため、新妙高大橋架替え工事の工期短縮を検討し、当初設計のRC床版構造から支保工と型枠が不要な合成床版に変更することなどで、約4カ月の工期短縮を図った。これにより令和3年8月3日、警戒レベル到達前に交通を切り替え、無事故で旧橋の供用を終えることができた。

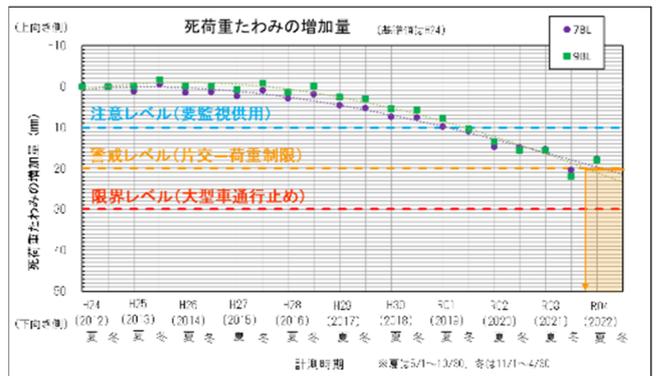


図-13 死荷重たわみの増加量

8. あとがき

劣化損傷した橋梁では、たわみに着目したモニタリングと詳細な解析を併用することで、管理においては有効であることが確認できた。

妙高大橋保全検討委員会の皆さまと、昼夜問わずにこれまで携わってこられた歴代の担当者、並びに関係各位のご尽力に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 妙高大橋のモニタリングによる管理 平成 25 年 北陸地整技術発表会 樋口
- 2) 国道 18 号妙高大橋の管理について 平成 28 年 北陸地整技術発表会 吉越, 谷口, 板谷
- 3) PC ケーブルが破断した国道 18 号妙高大橋の維持管理について 平成 29 年土木学会年次講演会 吉越, 谷口, 登石, 伊藤
- 4) PC ケーブルが破断した妙高大橋の解析検討 令和元年土木学会年次講演会 樋口, 此川, 登石, 大谷