

PC桁等大規模修繕工事の調査・設計 — 阪神高速13号東大阪線 —

(株)IHIインフラ建設 正会員 ○郷保 英之
 阪神高速道路(株) 堀岡 良則
 阪神高速道路(株) 佐藤 彰紀
 (株)IHIインフラ建設 正会員 西口 裕之

キーワード：グラウト充填状況調査，微破壊調査，健全性評価，耐荷性能照査

1. はじめに

本工事は、阪神高速13号東大阪線の47径間分の既設PC桁に対して詳細調査を行い、健全性を把握するとともに、健全性低下が確認されたものについては、現行基準レベルまで性能を向上させる目的にて実施されて

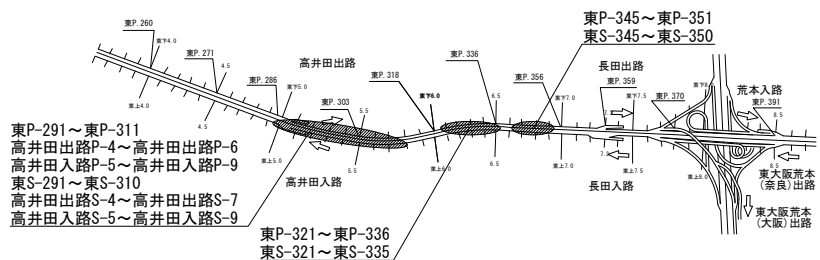


図-1 施工位置図

いる。対象橋梁の大部分が昭和40年代に建設された上縁定着を有するポストテンション方式T桁橋となっており、詳細調査ではPC鋼材損傷の疑いのあるPC桁の抽出、対象の全PC桁に対する適切な補修補強および予防保全の実施を目的に、外観変状、コンクリート物性、グラウト充填状況およびPC鋼材健全度などの確認を行っている。そして、詳細設計として各調査結果を踏まえ、健全性評価、耐荷性能照査を行い、補強が必要と判定された径間に対しては補強設計を実施している。本稿では、補修補強工事に先立ち行っている調査・設計の内容について報告を行う。本工事は施工位置図を図-1に示す。

2. 詳細調査の内容

2.1 外観変状調査

本工事は詳細調査のフローを図-2に示す。詳細調査は吊足場を全面に設置した上で、外観変状調査から開始し、調査対象は主桁、横桁、間詰部、壁高欄、支承部、橋脚部とした。対象の全PC桁の調査を近接目視および縦横20cm間隔の打音検査にて行っている。シーズに沿った幅0.2mm以上のひび割れ、遊離石灰、錆汁が確認された箇所は、PC鋼材腐食の疑いがあると判定し、微破壊調査を実施した。また、確認された変状の種類に応じて、コンクリート物性調査に使用するコア採取位置を選定した。

2.2 グラウト充填状況調査（非破壊）

非破壊によるグラウト充填状況調査はインパクトエコー法（以下IE法）にて実施した。調査対象は全PC桁の上縁定着PC鋼材とし、調査位置は図-3のとおり、残留空気やブリーディングにて充填不足が生じやすい両端曲げ上げ部2箇所ずつとした。隅角部では入力波が乱反射するため、200mm程度離れた。

2.3 微破壊調査

外観変状調査にてシーズに沿った変状が確認された箇所およびIE法調査にてグラウト不良の疑いがある箇所については、微削孔を行いシーズ内のグラウト充填状況やPC鋼材の腐食状況を目視およびCCDカメラにて調査した。さらに、シーズ内から出水があった場合はその塩化物イオン濃度を調査し、出水はないがPC鋼材腐食のあった場合は表面錆を採取棒にて直接採取し塩化物イオンの有無を確認した。

2.4 未充填体積調査

微破壊調査での削孔箇所を使用し、未充填体積調査を行っている。事前にワイヤーを挿入して推定

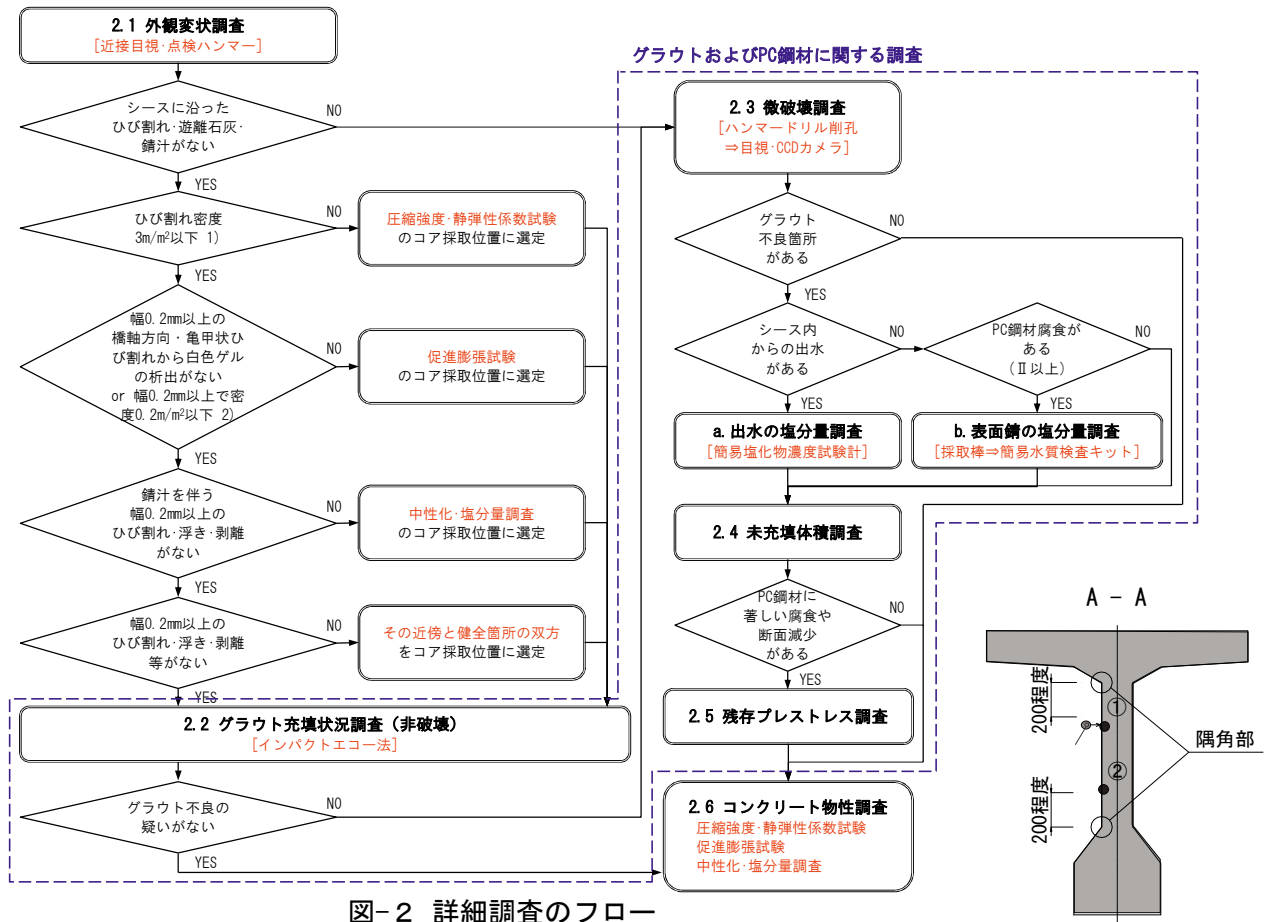


図-2 詳細調査のフロー



図-3 IE法調査位置

した未充填区間長と比較することで、調査結果の妥当性を確認している。

2.5 残存プレストレス調査

本稿執筆中の平成29年4月現在、残存プレストレス調査は未実施であり、今後、実施箇所を選定する。

2.6 コンクリート物性調査

コンクリート物性調査として、圧縮強度・静弾性係数試験、促進膨張試験、中性化・塩分量調査を実施している。調査対象は建設時の工区ごとに劣化が比較的進行した1径間を抽出することとした。

3. グラウトおよびPC鋼材に関する調査の評価基準

3.1 IE法調査の評価基準

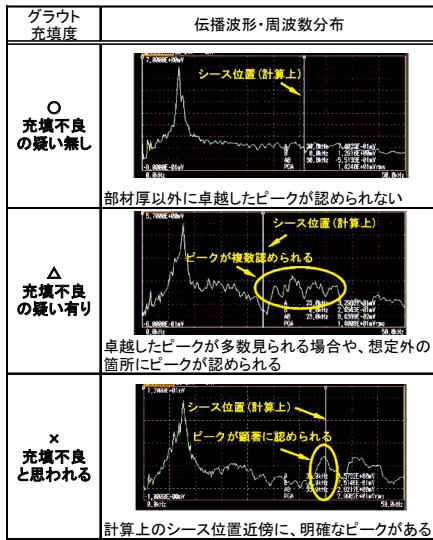
本工事でのIE法調査の評価基準を図-4に示す。シース位置に波形のピークが見られる「△：充填不良の疑い有り」「×：充填不良と思われる」と判定された箇所について、微破壊調査を実施する。

3.2 微破壊調査（グラウト充填度）の評価基準

本工事での微破壊調査の評価基準を図-5に示す。CCD写真の充填状況の違いにて4段階の判定を行った。「△：充填不良（空隙大）」「×：未充填」の箇所をグラウト不良と判定し、再注入を実施する。

3.3 微破壊調査（PC鋼材腐食度）の評価基準

本工事ではPC鋼材の腐食が確認された場合、耐荷性能照査に考慮するPC鋼材断面積は腐食状況と関連付けて4段階の判定を行った。³⁾PC鋼材腐食度のグレード分けを図-6に示す。



グラウト充填度	CCD写真	備考
○ 充填		グラウトが完全に充填されている
▲ 充填不良 (空隙小)		断面のほとんどの部分にグラウトが充填されているが、若干の空隙が見られる
△ 充填不良 (空隙大)		グラウトが注入されているが空隙が見られる
× 未充填		シース内にグラウトが注入された跡が見られない

PC鋼材腐食度	腐食状況写真	質量減少量	設計考慮断面積
I		1%程度未満に相当	100%
II		1~2.5%程度未満に相当	94%
III		10%程度未満に相当	85%
IV		10%程度以上に相当	0% (破断と見なす)

図-4 IE法調査の評価基準

図-5 微破壊調査の評価基準

図-6 腐食状況と材料特性値の関連

4. 詳細設計の内容

4.1 詳細設計の流れ

本工事の詳細設計のフローを図-7に示す。調査結果を径間ごとに取りまとめて「健全性評価」を実施し、PC鋼材損傷の疑いがある径間は「耐荷性能照査」に進む、さらに、耐荷性能照査にて補強が必要と判定された径間は「補強設計」を実施する流れであり、3項目が連動していることが特徴である。

4.2 健全性評価

グラウトおよびPC鋼材の健全性評価では、まず、グラウト充填度の評価を行い再注入の実施箇所を決定し、次に、耐荷性能照査に反映させるためにPC鋼材腐食度の評価を行う。さらに、出水の塩化物イオン濃度が200ppmを超える場合および表面錆から塩化物イオンが検出された場合は、再注入グラウトに防錆材を添加する方針である。主桁コンクリートの健全性評価では、外観変状調査結果からひび割れ補修および断面修復の補修実施箇所を決定し、物性調査結果に応じて補修材料を選定する。

4.3 耐荷性能照査および補強設計

耐荷性能照査の対象は、PC鋼材損傷の疑いのある主桁が存在する径間の全主桁とした。全主桁とする理由は、既設桁のプレストレス損失および外ケーブルによる追加プレストレスが横桁を介して他主桁にも分配することを考慮したためであり、耐荷性能照査および補強設計においては格子解析を用いて分配の影響を算出している。PC鋼材損傷の疑いの定義は、微破壊調査にてグラウト不良と判定された場合、もしくは、下フランジまたはウェブにグラウト不良に起因すると推測される幅0.2mm以上のひび割れがある場合とした。また、コンクリート物性の内、圧縮強度および静弾性係数は耐荷性能に影響すると考えられるため、物性調査にて設計値を下回る場合についても照査対象とする。

荷重条件は、活荷重をB活荷重とし、建設時から追加施工された遮音板、ケーブルラック、ガードレールの荷重と予防保全として本工事で床版下面に接着する補強鋼板の荷重を見込んだ。材料強度、許容応力度および設計定数は、概ね現行の道路橋示方書に準拠しているが、コンクリートの設計荷重時の許容曲げ引張応力度は建設時にフルプレストレスが採用されており、活荷重による繰返し応力などに対する安全性を確保するためにも建設時の思想に準拠した。また、コンクリート物性調査にて、圧縮強度が設計基準強度を下回る場合には、許容応力度を道路橋示方書より線形補間し低減させ、静弾性係数が設計値を下回る場合には、断面力解析および有効プレストレスの計算に試験値を使用した。

4.4 補強設計のケーススタディ

調査の実施と平行して、PC鋼材断面減少に対する外ケーブル補強量を把握するため、ケーススタディを行った。鋼材断面減少量は、調査の途中経過の傾向を踏まえ、①1本腐食：断面積85%、②2本腐

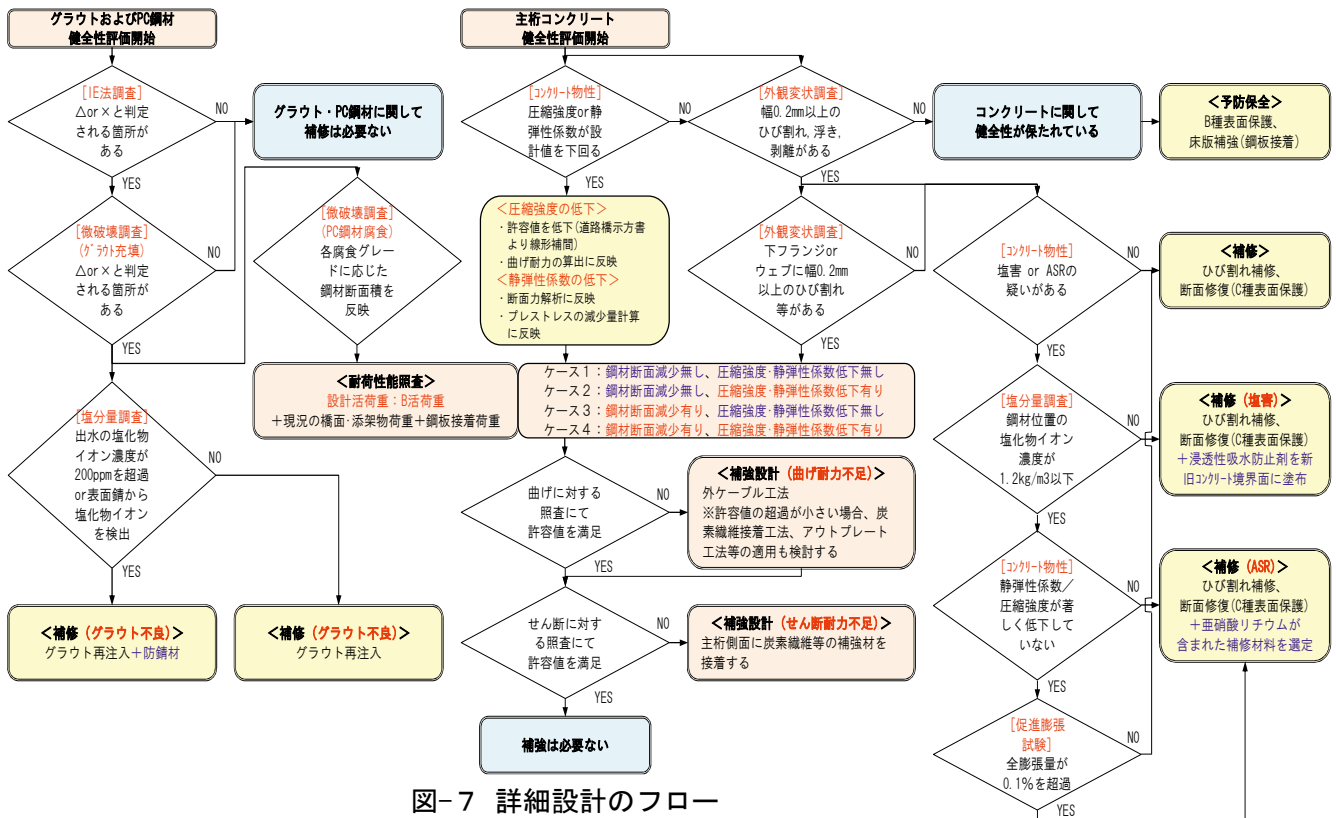


図-7 詳細設計のフロー

食：断面積85%，③1本腐食：断面積0%とした。検討対象は支間長24.3m，桁高1.65m，7主桁の径間で，主方向PC鋼材12φ7の配置本数はG1, 2, 6, 7で10本，G3～5で9本である。鋼材断面減少が無い場合，G7外桁に鋼材断面減少が生じた場合の結果を表-1に示す。鋼材断面減少が無い場合，全桁700kN型の外ケーブル補強となり，①では補強量は変わらず，②ではG7のみ1000kN型，③ではG7のみ1100kN型が必要になった。

表-1 ケーススタディでの応力計算結果

【PC鋼材断面減少無し】		設計荷重時 主桁応力度 (支間中央)							
		G1, G7		G2, G6		G3, G5		G4	
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
<補強前>	合計	7.81	-1.93	6.99	-1.44	6.70	-1.60	6.44	-1.12
<補強後> 外ケーブル1次力のみ考慮	1次力	-0.41	1.72	-0.36	1.73	-0.36	1.73	-0.36	1.73
600kN型	合計	7.40	-0.21	6.63	0.29	6.34	0.13	6.08	0.61
700kN型	1次力	-0.50	2.12	-0.45	2.12	-0.45	2.12	-0.45	2.12
	合計	7.31	0.19	6.54	0.68	6.25	0.52	5.99	1.00
<補強後> 外ケーブル分配考慮(2次力)	2次力	0.08	-0.31	-0.03	0.24	-0.04	0.16	-0.05	0.13
G1, G7: 700kN型	合計	7.39	-0.12	6.60	0.53	6.30	0.29	6.03	0.74
G2-G6: 600kN型	合計	-0.01	-0.06	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02
全桁: 700kN型	合計	7.30	0.13	6.55	0.71	6.25	0.54	5.99	1.02

【G7桁 PC鋼材断面減少有り】		設計荷重時 主桁応力度 (支間中央)														
		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	
<補強前>	合計	7.81	-1.93	6.99	-1.44	6.70	-1.60	6.44	-1.12	6.70	-1.60	6.99	-1.44	7.81	-1.93	
内ケーブルロス分配考慮(1次力+2次力)		変動	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.02	0.01	-0.07	0.02	-0.12	
① G7桁 1本腐食 断面積85%	合計	7.81	-1.92	6.99	-1.43	6.70	-1.60	6.44	-1.13	6.70	-1.62	7.00	-1.51	7.83	-2.05	
② G7桁 2本腐食 断面積85%	変動	0.00	-0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	-0.02	0.01	-0.06	0.03	-0.14	0.04	-0.22		
③ G7桁 1本腐食 断面積0%	合計	7.81	-1.90	6.99	-1.42	6.70	-1.60	6.44	-1.14	6.71	-1.66	7.02	-1.58	7.85	-2.15	
	変動	-0.01	-0.09	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	-0.04	0.00	-0.15	0.08	-0.46	0.13	-0.77	
<補強後>	合計	7.80	-1.84	6.99	-1.39	6.70	-1.59	6.44	-1.16	6.70	-1.75	7.07	-1.90	7.94	-2.70	
外ケーブル分配考慮(1次力+2次力)		変動	-0.51	2.07	-0.44	2.15	-0.45	2.16	-0.45	2.15	-0.45	2.15	-0.44	2.15	-0.51	2.07
① G7桁 1本腐食 断面積85%	合計	7.30	0.15	6.55	0.72	6.25	0.56	5.99	1.02	6.25	0.53	6.56	0.64	7.32	0.02	
② G7桁 2本腐食 断面積85%	変動	-0.47	1.97	-0.43	2.10	-0.45	2.16	-0.48	2.22	-0.51	2.32	-0.52	2.44	-0.58	2.43	
G1-G6: 700kN型 G7: 1000kN型	合計	7.34	0.07	6.56	0.68	6.25	0.56	5.96	1.08	6.20	0.66	6.50	0.86	7.27	0.28	
③ G7桁 1本腐食 断面積0%	変動	-0.43	1.87	-0.41	2.05	-0.46	2.16	-0.51	2.29	-0.55	2.48	-0.59	2.72	-0.64	2.78	
G1-G6: 700kN型 G7: 1100kN型	合計	7.37	0.03	6.58	0.66	6.24	0.57	5.93	1.13	6.15	0.73	6.48	0.82	7.30	0.08	

5. おわりに

本工事の調査・設計は，平成29年夏頃の完了に向けて進行中である。阪神高速道路では，今後もPC桁の大規模修繕工事を進める予定であり，本工事などでの検証を重ね，より合理的な調査・補強方針としていく所存である。最後に，ご指導，ご協力いただいた関係各位に深くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 三浦，幸左，久利，川島：ASRを生じた実構造物の長期的な損傷評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，2008
- 2) 阪神高速道路(株)：ASR構造物の維持管理マニュアル，2007
- 3) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案)，2009