

プレストレストコンクリート部材の断面修復による補修の検討

古賀裕久* 渡辺博志** 北野勇一*** 中村定明****

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化要因には種々のものがあるが、劣化の進行が特に速く、その影響が大きいのは、塩害による劣化である。塩害とは、多量の塩化物イオンの影響で、コンクリート中の鋼材が早期に腐食してしまうことをいう。特に海岸付近に位置するコンクリート構造物では、塩害による鋼材腐食を防ぐために、かぶり（構造物表面から鋼材までのコンクリートの厚さ）を大きくするなどの対策が取られている。

既存構造物で塩害による鋼材腐食が認められる場合には、これに対し早期に対策を行い、腐食の進行を防ぐことが肝要である。このための対策にはいくつかの方法があるが、塩化物イオンを多量に含むコンクリートを除去し、補修材で断面を回復する断面修復は、塩害を受けたコンクリート構造物に対し、これまで広く適用されている。

断面修復は、劣化因子を含むコンクリートを補修材で置き換える対策であり、通常は母材コンクリートと同等かより優れた強度的性質をもつ補修材が用いられるので、鉄筋コンクリート部材（以下、RC部材）の場合には、断面修復による補修を行うことによって耐荷性能に悪影響が生じることは起こりにくい。

しかし、プレストレストコンクリート部材（以下、PC部材）に断面修復を適用する場合には、断面を除去した際にプレストレス力の再配分が生じること、断面を修復した箇所ではプレストレス力が失われていることから、部材の耐荷性能に悪影響が生じるおそれもある。一方、はつり範囲を小さくすると、塩分が多量に含まれる部位が補修後も残留し、腐食の進行を抑えるという補修の目的が達成できないおそれがある。このためPC部材を対象とする場合には、はつり範囲を適切に設定する必要がある。

そこで、土木研究所と社団法人プレストレス

ト・コンクリート建設業協会は、平成15年～17年の間、「PC橋の改造技術に関する共同研究」を実施し、PC部材の断面修復による補修について検討した。ここでは、その概要を紹介する。

2. 断面除去の影響についての検討¹⁾

2.1 検討概要

標準設計として示されているPC桁（図-1、図-2）²⁾³⁾を対象に、施工時の安全性を解析によって検討した。これらのPC桁の適用基準は、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成8年）で、A活荷重に対応したものである。

2.2 解析方法

全面交通規制下ではつりを行うことを想定し、このときの荷重として死荷重のみを考慮した。はつりは支間中央付近の桁下縁側より行うものとし、はつりに伴う断面の応力状態の変化に着目した。また、格子構造として橋面荷重の再配分は無視し、

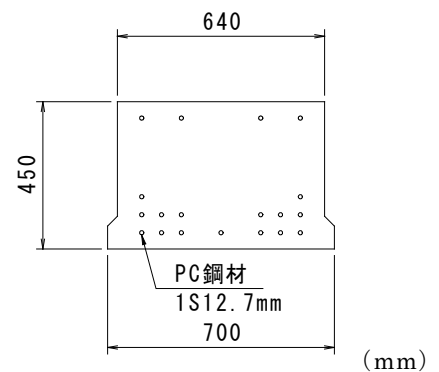


図-1 検討桁（プレテンション方式、支間10m）

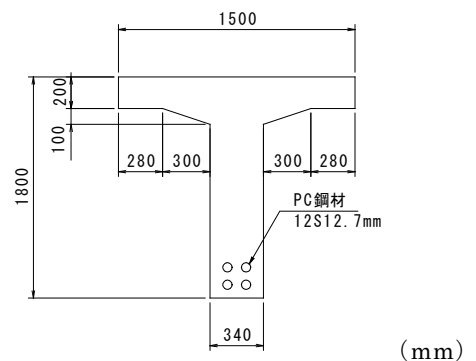


図-2 検討桁（ポストテンション方式、支間30m）

断面除去によるプレストレスの再分配は、次の仮定により算定した。

- (1) 平面保持の仮定のもと、線形解析によりコンクリートの応力度を算出する。
- (2) 断面除去部は断面を無効とし、それ以外の部分は全断面を有効とする。
- (3) 断面除去によりPC鋼材が完全に露出した断面においても、平面保持の仮定が維持されるものとする。
- (4) 既設PC桁に導入されている有効プレストレスを断面除去後の既設断面に作用させ、コンクリートの弾性変形を求め、これによるプレストレスの損失を考慮してプレストレスを再分配させる。

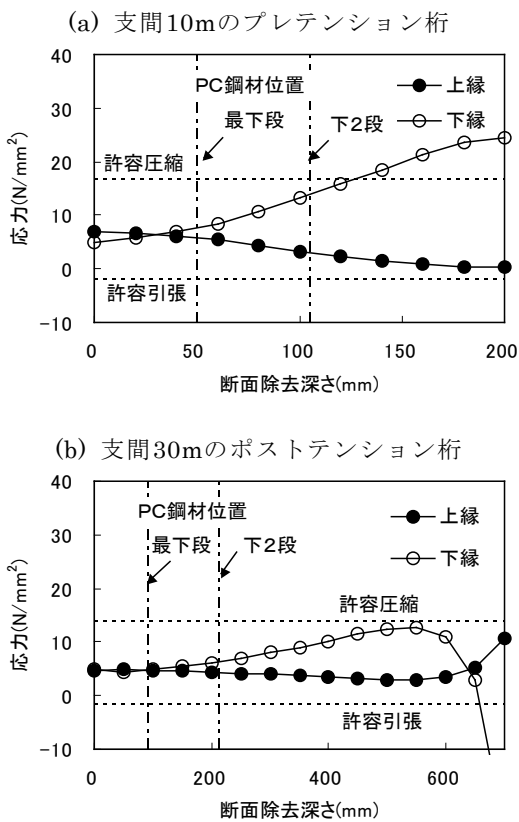
これらの仮定については、支間10mのプレテンション桁を下から2段目のPC鋼材を露出させるまではつた実験により、既設断面に曲げひび割れが生じるまで成立していることが確認されている⁴⁾。

2.3 解析結果

図-3に支間中央の上下縁応力度の解析結果を示す。なお、はつり箇所では、はつりに伴って下縁の位置が変化するが、この解析では、下縁とは、はつり前の断面における下縁の位置を指すものとして固定した。また、プレストレス力は有効プレストレスを用いた。

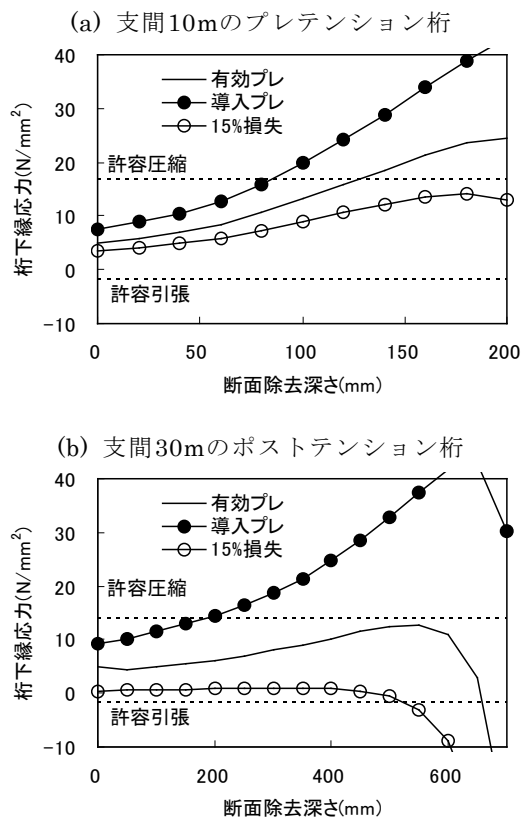
今回解析を行ったプレテンション桁では、はつり範囲が最下段のPC鋼材の位置までであれば応力変化は小さかったが、さらに断面を減少させると応力変化が大きくなった。ポストテンション桁では、はつり範囲を下から2段目のPC鋼材の位置までであれば応力の変化は大きくなかった。

次に、部材のプレストレス力が、有効プレストレスよりも大きいもしくは小さい場合の影響を検討した。ここでは、プレストレス力が導入プレストレスと同じ場合（有効プレストレスよりも20～30%大）と、プレストレス力が有効プレストレスから15%減少している場合を想定した。



※図中の許容圧縮／引張応力度の点線は、道路橋示方書の記述を参考に、目安として示したものである。コンクリートの応力度がこれらを超えて大きくなった場合、ひび割れが発生するおそれがあり、必ずしも図中に示したように推移するとは限らない。

図-3 はつり深さと上下縁応力の関係



※図中の許容圧縮／引張応力度の点線は、道路橋示方書の記述を参考に、目安として示したものである。コンクリートの応力度がこれらを超えて大きくなった場合、ひび割れが発生するおそれがあり、必ずしも図中に示したように推移するとは限らない。

図-4 プレストレス力と下縁応力の関係

図-4にははつり後の断面（支間中央）の上下縁応力度の解析結果を示す。導入プレストレスを想定した場合は、はつり後の断面における圧縮応力が大きくなり、安全にはつることができる範囲が小さくなった。プレストレス力が15%減少している場合は、はつり時の安全性という観点からは、今回の検討ケースでは影響が大きくなかった。

3. 外ケーブル工法併用についての検討⁵⁾

3.1 検討概要

はつりによっていったん断面を除去した箇所はプレストレス力が失われるので、その範囲が広くなると、耐荷性状への影響が無視できなくなる。このような場合には、緊張材を部材の外部に配置し、定着部あるいは偏向部を介して部材に緊張力を与える外ケーブル工法を併用して、必要なプレストレス力を補うことが有効と考えられる。

そこで、プレテンションPC桁を対象に、劣化部位の除去を想定したはつり、断面修復、外ケーブル工法による補修部位へのプレストレス力導入を行った桁と、これらを行っていない桁を製作し、補修したPC桁の耐荷性状について検証した。

なお、断面修復後にプレストレス力を導入するためには、補修部も母材部と同等の剛性を有することが求められる。そこで、断面修復材として、ヤング係数が母材コンクリートと同等以上で、かつ膨張材により収縮量を低減させた高流動コンクリート（表-1）を使用した⁶⁾。

3.2 実験方法

使用したPC桁の断面形状は図-1と同じである。はつりの目標高さは120mm、はつり範囲は、桁中央部の2mのはり下面から120mmまでとし、はつりにはウォータージェット工法を用いた。また、塩害による鋼材腐食を模擬するためにはつり出したPC鋼より線の一部を切断した（図-5）。

はつり後は、母材コンクリートと同等のヤング係数を有する断面修復材（高流動コンクリート）

で断面を修復し、耐力および断面修復部の下縁応力が断面修復前と同等程度まで回復することができるよう事前に解析を実施して片側490kNの緊張力を外ケーブル工法で導入した。図-6に外ケーブル工法適用後の供試体を示す。

断面修復後、約1年間の屋外暴露を行った後、曲げ載荷試験を行った。載荷は、支間長10m、載荷スパン3mとして行った。ここで、屋外暴露期間を1年間確保した理由は、この間に断面修復部分に生じるクリープによる悪影響が生じているかどうかを確認するためである。

3.3 載荷試験結果

載荷試験時の荷重と中央たわみの関係を図-7に示す。ひび割れ発生荷重は、無補修の桁で175kN、断面修復した桁で170kNと同程度であった。曲げひび割れ発生後のたわみ挙動も大差はなく、断面修復と外ケーブル補強の組合せで、PC桁の耐荷性状を回復することができた。

ひび割れ図を図-8に示す。下面のひび割れ本数及びひび割れ間隔には大きな違いが生じず、断面修復した桁はひび割れの分散性状についても問題

表-1 コンクリート材料試験結果

コンクリートの種類	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
母材コンクリート	812	73.6	41.6	0.21
断面修復材	365	92.0	41.9	0.20

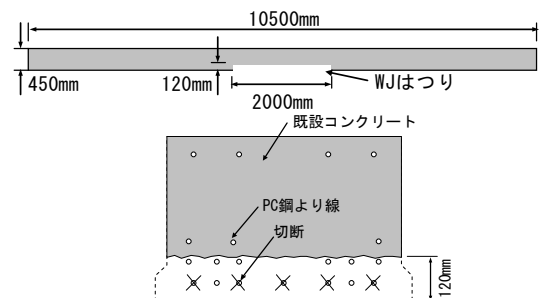


図-5 はつり状況



図-6 断面修復・外ケーブル工法適用後の供試体

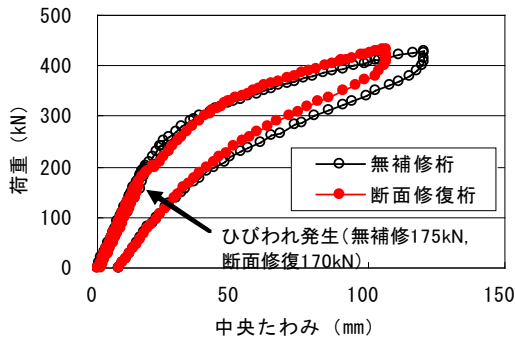


図-7 荷重と中央たわみの関係

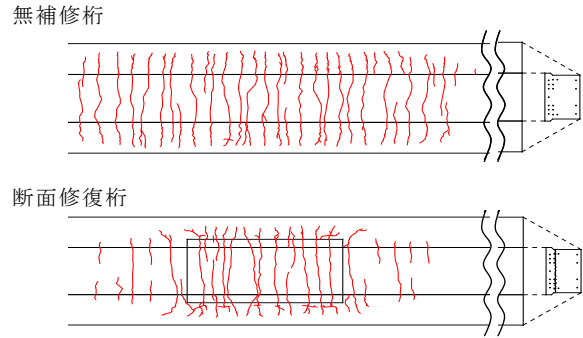


図-8 ひび割れ図

はなかった。また、この実験で使用した断面修復材については、事前の試験でも母材コンクリートとの間に高い付着性能を有していることを確認しており、打継目で一体性が損なわれることもなかった。

なお、本報ではその詳細は略すが、この実験におけるウォータージェットによるはつりおよび外ケーブルによるプレストレス力の導入、クリープ・収縮による経時変化、曲げ載荷試験時の状態を対象に、非線形FEMによる解析を行った結果と、供試体のひずみを継続して測定した結果は良く整合しており、PC桁を断面修復により補修する際に、その補修範囲等を検討するツールとして、非線形FEM解析が有効であることが確認された。

4. まとめ

PC部材の断面修復による補修についての研究のうち、断面除去の影響についての検討、外ケーブル工法を併用した耐荷性状回復手法についての検討についてその概要を紹介した。断面修復による補修の効果を確実に得るためには、多量の塩分を含むコンクリートを確実に除去することが肝要

であるが、PC部材の場合には、はつりの影響でかえって部材の性能を損なうおそれもあるので、これを適切に評価し、補修の範囲や補修方法を適切に計画する必要がある。その際、本報で紹介した検討手法等を参考にいただければ幸いです。

参考文献

- 1) 北野勇一、渡辺博志、濱田譲、中村定明：塩害を受けたPC桁の断面除去に関する検討、第16回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.175-178、2007.10
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：JIS橋げたによるPC道路橋設計・製造便覧、1995.4
- 3) 建設省：土木構造物標準設計第13～16巻—ポストテンション方式PC単純Tげた橋—、1994.9
- 4) 中村定明、中村雅之、藤田学、久田真：はつりによるPC桁の変形挙動解析とその検証、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第5巻、p.359-366、2005.10
- 5) 三加崇、渡辺博志、中村定明、中田順憲：断面修復および外ケーブル補強を実施したPC桁に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.29、No.3、pp.1555-1560、2007.6
- 6) 谷口秀明、渡辺博志、手塚正道、藤田学、久田真：PC橋の大規模な断面修復を対象とした高流動コンクリートに関する検討、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第6巻、pp.209-216、2006.10

古賀裕久*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所技術推
進本部構造物マネジメン
ト技術チーム主任研究員
Hirohisa KOGA

渡辺博志**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所技術推
進本部構造物マネジメン
ト技術チーム主席研究
員、工博
Dr. Hiroshi WATANABE

北野勇一***



社団法人プレストレス
ト・コンクリート建設業
協会
Yuichi KITANO

中村定明***



社団法人プレストレス
ト・コンクリート建設業
協会、工博
Dr. Sadaaki NAKAMURA