

塩害を受けたPC桁の断面除去に関する検討

プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○北野 勇一
 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 正会員 渡辺 博志
 プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 濱田 謙
 プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 中村 定明

1. はじめに

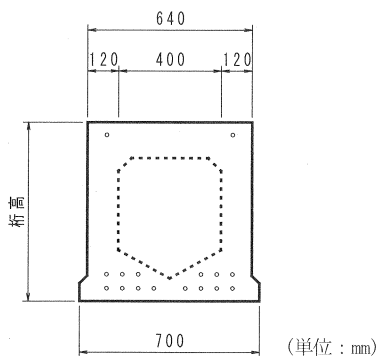
コンクリート構造物の補修に対する基本的な考え方は、生じている損傷をそれ以上進行させないことと、その劣化要因を取り除くことにある。塩害を受けたPC橋ではPC鋼材よりも深部に侵入した塩分を含むコンクリートを取り除くこと（以下、断面除去）は困難とされてきたが、ウォータージェット工法の普及により、それが可能となってきた。また、断面除去に伴うPC桁の力学挙動はFEM解析により精度良く評価できつつある¹⁾。しかしながら、より積極的に断面除去を行うような塩害補修、すなわち、大断面修復工法が適用される事例は、依然としてまれである。これは、断面修復工法に対する補修効果の信頼性に問題があることのほかに、断面除去の適否に関する判断材料が不足していることに起因しているものと思われる。

したがって、本研究では、断面除去の適否の判断として、PC鋼材が配置されて構造リスクの高いPC桁の下縁側に着目し、断面除去がPC桁の力学挙動に及ぼす影響を試算によって検討した。

2. 検討概要

2.1 対象PC桁

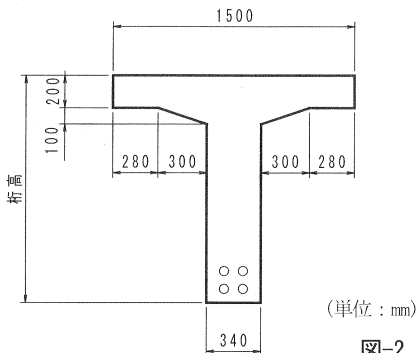
図-1、図-2に対象としたPC桁の断面形状と諸元を示す。ここで、PC桁は標準設計が示されているプレ



(単位: mm)

標準 支間長 (m)	桁高 (mm)	PC鋼材の 本数(種類)	PC鋼材の位置 (mm)	
			最下段	下2段目
10	450	19(12.7)	50	10.5
12	450	13(15.2)	50	11.5
14	500	15(15.2)	50	11.5
16	600	15(15.2)	50	11.5
18	700	16(15.2)	50	11.5
21	800	21(15.2)	50	11.5
24	950	25(15.2)	50	11.5

図-1 プレテンション桁の断面形状と諸元



(単位: mm)

標準 支間長 (m)	桁高 (mm)	PC鋼材の 本数(種類)	PC鋼材の位置 (mm)	
			最下段	下2段目
20	1400	4(7S12.7)	85	195
25	1600	5(7S12.7)	85	195
30	1800	4(12S12.7)	90	210
35	2000	5(12S12.7)	90	210
40	2300	4(12S15.2)	95	225

図-2 ポストテンション桁の断面形状と諸元

テンション桁²⁾とポストテンション桁³⁾より、適当な支間長のものを選定した。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6年)であり、活荷重の種類をA活荷重とした。

2.2 検討方法

全面交通規制下で補修工事を実施することを想定し、全死荷重状態において支間中央付近の桁下縁側より断面除去を行った場合の支間中央断面の上下縁応力(ただし、下縁は、安全側の検討として断面除去前の下縁位置とした)を試算した。この際、格子構造として橋面荷重の再分配は無視し、断面除去によるプレストレスの再分配は、次の仮定⁴⁾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 断面除去により露出したPC鋼材のひずみ変化量は、同位置のコンクリートのそれと同一とみなす。
- ④ 既設PC桁に導入されている有効プレストレス力を断面除去後の既設断面に作用させ、再度コンクリートの弾性変形によるプレストレスの損失を考慮してプレストレス力を再分配させる。

ここで、これらの仮定は支間10mのプレテンション桁をPC鋼材の定着範囲を除く部材全長にわたって下2段目のPC鋼材を露出させる断面除去を行った実験と解析検討により、既設断面に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¹⁾。したがって、ひび割れ発生以後の試算結果は本仮定の適用範囲外であるが、便宜上、そのまま掲載することにした。また、プレストレスの再分配は内力の釣り合いより求めることから、断面除去を行う深さによっては弾性変形による損失が影響するものの、支間方向の除去範囲に関してはその影響がないものと見なした。なお、既設断面が許容応力を超える断面除去深さを「断面除去の限界深さ」と定義した。これは、断面修復後にプレストレスを追加する場合、既設部のオーバープレストレスを回避するための仮の制限値である。

2.3 検討ケース

表-1に検討ケースを示す。検討ケースは、対象PC桁の違いのほか、プレストレス力の大小やプレストレス再分配時の弾性変形ロスについて検討することにした。ここで、導入プレストレスとは、桁製作時の緊張力(有効プレストレスに対し、プレストレス力が20%~30%ほど大きい)とした。また、有効プレストレスに対し15%損失とは、PC鋼材が破断していても構造安全性が確保される範囲を想定して(対象PC桁の破壊安全度は1.15~1.30)設定した。

3. 検討結果

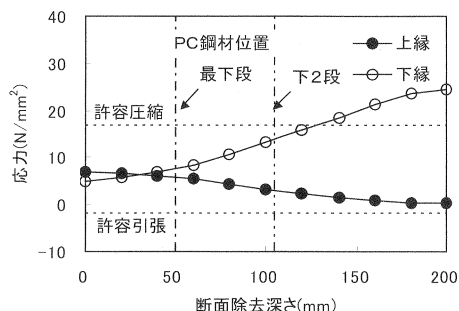
3.1 ケース1: 対象PC桁の検討結果

図-3に対象PC桁を変えた場合の支間中央における既設断面の上下縁応力度の検討結果を示す。ここで、プレストレス力は有効プレストレスを用い、プレストレス再分配時の弾性変形ロスを考慮した。

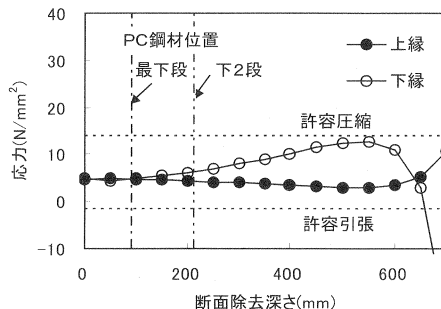
これより、PC鋼材を露出させるまでの断面除去による応力変化は小さく、下2段目まで断面除去したとして

表-1 検討ケース

ケース名	パラメータ
ケース1: 対象PC桁	1)プレテンション桁 2)ポストテンション桁
ケース2: プレストレス力	1)有効プレストレス2)導入プレストレス 3)有効プレストレスに対し15%損失
ケース3: 弾性変形ロス	1)考慮 2)無視



(a) 支間10mのプレテンション桁



(b) 支間30mのポストテンション桁

図-3 ケース1: 対象PC桁の検討結果

も許容応力を超えることはなかった。しかしながら、プレテンション桁ではPC鋼材の最下段、ポストテンション桁では下2段目を露出させるような断面除去を行うと、応力変化が大きく生じるようになった。また、解析結果は、桁下縁側より断面除去を行うと、次第にプレストレスの影響で下縁圧縮に移行し、既設断面をある程度以上まで減少させてしまうと死荷重の影響が卓越して下縁引張が厳しくなるように移行する傾向になった。

3. 2 ケース2：プレストレス力の検討結果

図-4 にプレストレス力を変化させた場合の支間中央における既設断面の下縁応力度の検討結果を示す。ここで、プレストレス再分配時の弾性変形ロスを考慮した。

これより、前節 3.1 に示した有効プレストレスの結果(図中の実線)にくらべ、導入プレストレスを用いて試算したケースでは圧縮応力が増大し、許容応力を満たす断面除去深さが小さくなる傾向になった。一方、有効プレストレスに対し 15%損失させたケースでは、圧縮応力が減少するものの、引張応力に転じるようになるのは、ポストテンション桁の場合でも断面除去深さで 500mm を超えてからであった。

このように、今回検討した PC 桁では、設計上の有効プレストレスが PC 鋼材の破断等により 15%ほど低下した場合でも、断面除去の適否には関与しないと言える。しかしながら、設計上の有効プレストレスまで導入プレストレスが低下しない場合も考えられることから、大断面修復の適用にあたっては、オーバープレストレスになることも考慮する必要がある。

3. 3 ケース3：弾性変形ロスの検討結果

図-5 に弾性変形ロスを考慮、無視した場合の支間中央における既設断面の下縁応力度の検討結果を示す。ここで、プレストレス力は有効プレストレスを用いた。

これより、ポストテンション桁の桁下縁側において弾性変形ロスを無視すると圧縮応力がやや増加するものの、PC 鋼材の下 2 段目までの断面除去深さであれば、応力変化に及ぼす影響は比較的小さい傾向であった。一方、PC 鋼材を 2 段以上露出させるような断面除去を行う場合には、弾性変形ロスを考慮しないと、桁下縁側の圧縮応力が急増した。

以上より、桁下縁側を大きく断面除去する場合でも、PC 鋼材の下 2 段目程度までであれば、有効断面が減少することによって増加する弾性変形の影響が小さく、考慮しないとしても安全側の照査になることが確認された。

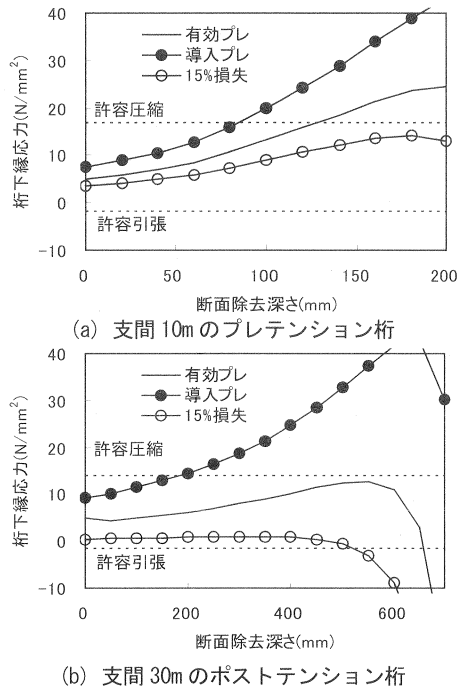


図-4 ケース2：プレストレス力の検討結果

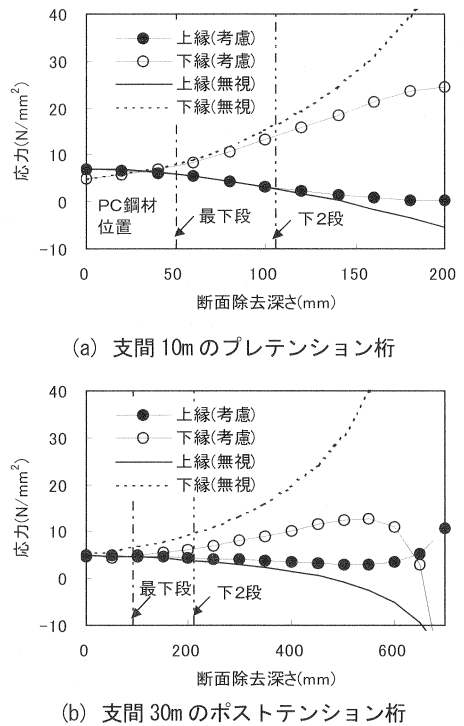


図-5 ケース3：弾性変形ロスの検討結果

3. 4 断面除去の限界深さの検討結果

図-6に弾性変形ロスを考慮し、プレストレス力を変化させた3ケースについて支間中央の断面除去の限界深さを試算した結果を示す。

これより、限界深さを与えたのは全て下縁側となった。また、導入プレストレスとした場合には下縁圧縮、それ以外では概ね下縁引張で限界深さが決定することになった。このように、プレストレス量の多少により、限界深さを与える条件が変化するとともに、断面除去が可能な範囲も大きく異なる結果になった。

以上のことから、断面除去の限界深さが最も小さくなった導入プレストレスの場合に着目すると、PC鋼材の最下段までの断面除去は可能であることがわかる。また、実構造物のプレストレスは有効プレストレスと導入プレストレスの間にあると考えられ、ポストテンション桁のPC鋼材の下2段目までを断面除去しても概ね問題にならないと思われる。

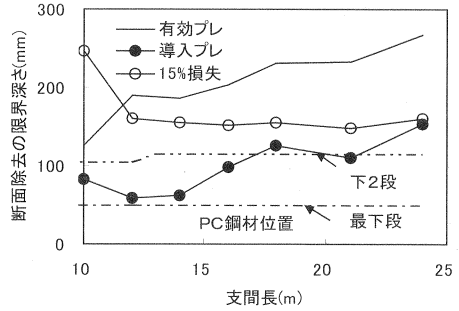
なお、露出したPC鋼材のひずみ変化量が同位置のコンクリートのそれと乖離するケースや格子桁の一部の桁に対して断面除去を適用して部材拘束の影響を受けるケースなどについては未検討である。また、支間中央が必ずしも限界深さを与えるクリティカルな断面とならないことにも留意する必要がある。

4. まとめ

- (1) 道路橋示方書に基づき標準設計されたPC桁において、プレテンション桁でPC鋼材の最下段、ポストテンション桁で下2段を露出させる断面除去を行うと、死荷重状態からの応力変化が大きく生じる。
- (2) 上記(1)において、導入プレストレスが有効プレストレスにまで低下しない場合、断面除去時のプレストレス再分配により桁下縁側の圧縮応力が増大する。一方、有効プレストレス力がPC鋼材の破断等により低下した場合でも、損失が15%までであれば、その影響は小さい。
- (3) 上記(2)に加え、PC鋼材の下2段目までの断面除去であれば、プレストレス再分配時の弾性変形ロスがコンクリートの応力変化に及ぼす影響は小さい。
- (4) 上記(1)~(3)を勘案すると、断面除去の限界深さは、今回検討したようなプレテンション桁でPC鋼材の最下段、ポストテンション桁で下2段目程度を目安にするのがよい。

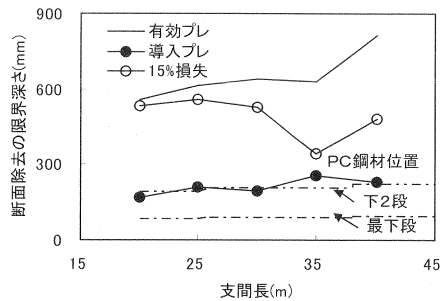
参考文献

- 1) 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, pp. 359-366, 2005. 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) 渡辺博志, 河野広隆, 田中良樹: 補修したPC部材の耐荷性能に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文集, 第1巻, pp. 81-84, 2001. 10



* 限界深さを与える条件は、次の通りであった。
有効プレ: 支間10mは下縁圧縮, 12~24mは下縁引張。
導入プレ: 全て下縁圧縮。15%損失: 全て下縁引張。

(a) プレテンション桁



* 限界深さを与える条件は、次の通りであった。
有効プレ: 支間20mは下縁圧縮, 25~40mは下縁引張。
導入プレ: 全て下縁圧縮。15%損失: 全て下縁引張。

(b) ポストテンション桁

図-6 断面除去の限界深さの検討結果