

腐食損傷したPC外ケーブルの張替え工事報告

首都高速道路(株)		○峯村 智也
首都高メンテナンス西東京(株)		徳永 孝継
川田建設(株)	正会員	山岸 俊一
(株)エスイー	正会員	河田 洋志

1. はじめに

橋脚横梁を補強するPC外ケーブル(写真-1)に腐食損傷が発見された。当該橋梁は、昭和44年に供用したが、供用開始2年後にRC橋脚の隅角部にひび割れが発見され(図-1)、昭和49年にPC外ケーブルにて補強を行っている。ケーブルは、保護コンクリートで充填された鋼製ボックス内に配置されていたが、保護コンクリートが密に充填されていなかったため、橋脚天端からの雨水が保護コンクリート内に侵入し、ケーブルを腐食させたものと考えられる。詳細調査の結果、ケーブルの腐食損傷が著しいことから、PC外ケーブルの張替えを行うことになった。

既設ケーブルの撤去は、定着部での張力解放が困難な場合、ガス切断にて行うことがあるが、ガスバーナーにてケーブルを切断すると衝撃が大きくなり、安全性に問題がある。そこで、本工事ではケーブルを間接的に熱することでケーブルを延性破断させる技術を開発した。本稿では、PC外ケーブルの損傷と間接加熱による切断技術を用いたケーブルの張替え施工概要を報告する。



写真-1 PC外ケーブルで補強された橋脚

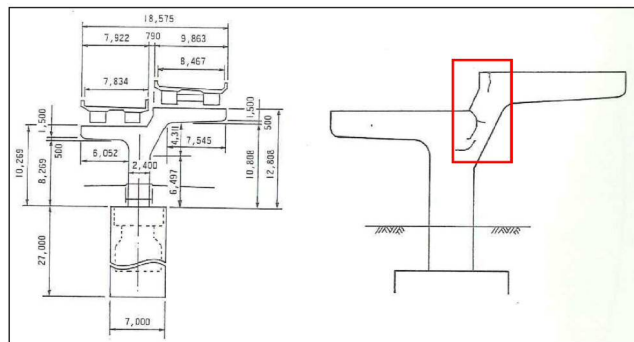


図-1 昭和46年のひび割れ調査図

2. PC外ケーブルの損傷概要

2.1 腐食状況

当該ケーブルは、7本よりPC鋼より線をさらに19本より合わせたPC鋼材である。写真-2のとおり、保護コンクリートから鋼より線がむき出しとなり、腐食している状況が点検で発見された。詳細調査の結果、シース内はグラウトが未充填であり、鋼より線の腐食はケーブル全体に進行し、素線の一部には破断しているものもあった(写真-3, 4)。



写真-2 点検時の状況



写真-3 グラウト未充填状況



写真-4 腐食状況

2. 2 ケーブルの張力導入状況

当該橋脚のPC外ケーブルは、合計4本（橋脚の両側面にそれぞれ2本）配置されているが、鋼線の腐食損傷により、導入張力が減少しているか否かを確認するため張力を測定した。結果は表-1のとおりであり、腐食が著しい起点側については、当初導入張力の60%程度まで張力が減少していた。

表-1 張力測定結果 (kN)

	当初導入張力	測定結果
起点側	1,564 (100%)	969 (62%)
終点側	1,564 (100%)	1,284 (82%)

※起・終点側ともに上段のケーブルを測定

※張力は、ケーブルにコイルを巻きつけ直接応力を測定するEMセンサーにより測定

3. ケーブルの張替え検討

3. 1 現況の応力状態とひび割れ原因の推定

現況の応力状態を確認するためFEM解析を実施した。図-2は「ケーブル補強なし」の応力コンター図であるが、ひび割れ発生箇所に高い応力が発生していることがわかる。また、建設時の配筋図とひび割れ発生位置を重ね合わせると（図-3）、ひび割れは梁の主筋が曲げ下がり始めた位置で発生していることがわかった。このことから、ひび割れの原因は、主筋が曲げ下げられた位置に局部的に引張力が集中したためではないかと推定される。

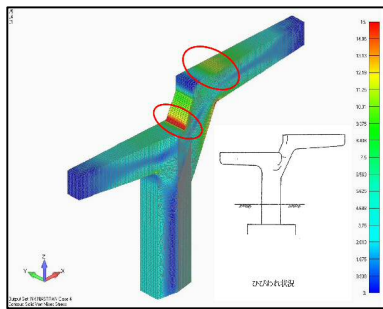


図-2 応力状態（補強なし）

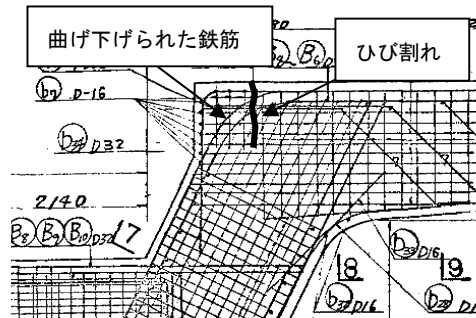


図-3 ひび割れ箇所の配筋図

3. 2 ケーブルの張替え手順

新設ケーブルはポリエチレン被覆ケーブルとし、張替え手順は図-4のとおりとした。張替え施工時、ケーブルが1段のみとなることもあるが、下記の理由から問題ないものとした。

- ・ ケーブル1段の場合、許容応力度に対する超過は3%程度である。
- ・ 照査はB活荷重満載時として実施したが、実際は車線の半分がゼブラ処理となっており、現時点でB活荷重の満載はありえない（活荷重反力は常時反力の65%を占めている）。
- ・ 施工時、ケーブルが1段のみとなるのは最大で1週間程度と短期間である。

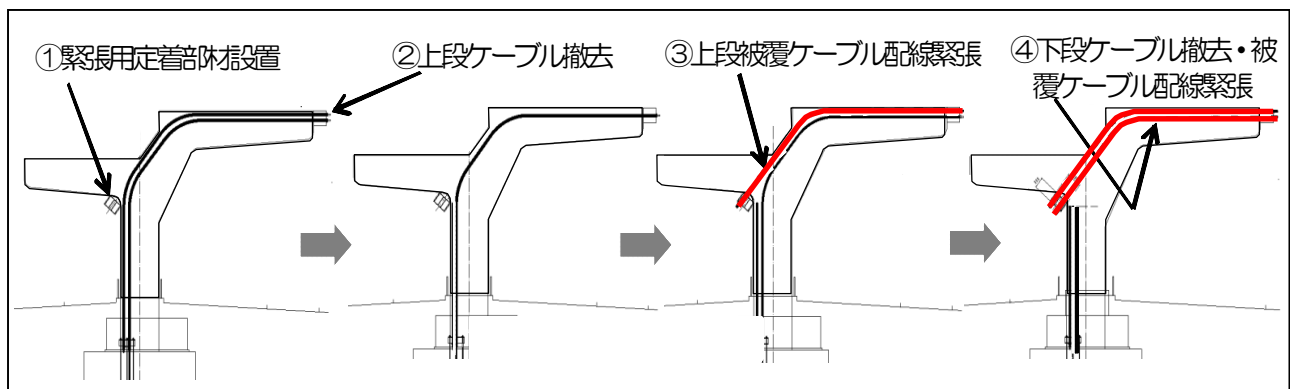


図-4 施工ステップ図

4. ケーブルの張力解放方法の検討

4. 1 ケーシングパイプを用いた間接加熱による張力解放

既設ケーブルは腐食がケーブル全体に進行し、素線の一部が破断しているため、緊張ジャッキによりケーブル張力を解放することができないと判断した。また、ガスバーナー等で直に切断する方法（以下、「直接加熱法」という。）では、破断時の衝撃が大きく、切断されたケーブルが定着部側に飛び出す可能性があり安全性を確保できないと考え、別の切断方法を検討した。

PC外ケーブルを加熱した場合、400℃付近から再結晶が始まり、荷重をかけると延性変形する。このことから、張力が残存したPCケーブルを徐々に加熱することで伸び変形させ、張力減衰効果と延性破壊効果で安全に切断することができるのではないかと考えた。

加熱方法については、PC外ケーブルの外周に半割状で内径80mmの鋼製ケーシングパイプ（写真-5、6）をセットし、そのケーシングパイプの外周全体をガスバーナーで熱することでケーブルを間接的に加熱する方法（以下、「間接加熱法」という。）を考案した（図-5）。

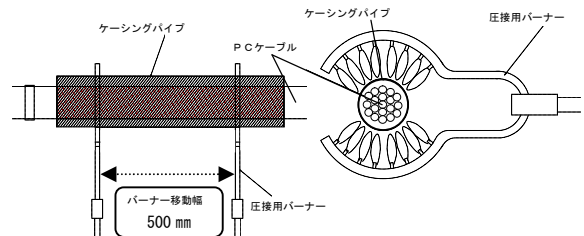


写真-5 ケーシングパイプ

写真-6 取付け状況

図-5 間接加熱法概要図

4. 2 室内実験による検証

(1) 室内実験概要

上述した間接加熱法の適用性を実験にて確認することにした。実験は、1500kNの張力を導入したPCケーブル（現場と同一タイプで延長7m）を反力台（写真-7）にセットし、表-2に示す項目について計測した。また、比較のために直接加熱法による切断実験も実施した。



写真-7 反力台

表-2 ケーブル切断時の計測項目

計測項目	計測方法
温度	ケーシングパイプ外面温度は非接触型温度計を使用 ケーシングパイプの内部空気層温度は熱電対式温度計を使用
ケーブル張力	定着部マンションにひずみゲージを設置し、ひずみ量から張力の変化量を計測
破断面の形状	目視により観察

(2) 室内実験結果

間接加熱法による切断では、ケーブル全体が延性変形して15%程度張力が減衰したのち、ケーシングパイプ内の空気層が600℃（加熱開始4分後）に上昇する頃から素線破断の連鎖が始まった。その後、加熱開始から8分で張力は完全に解放された（図-6）。破断形状は写真-8のとおり、延性破断状態であることが確認できた。

一方、直接加熱法による切断では定着部が突出することはなかったが、大きな衝撃を伴いながら加熱後直ちに素線が破断した（図-7）。また、破断形状は写真-9のとおり、金属が溶融した痕跡が確認できた。PCケーブル加熱点の表面温度は、ガス炎の接触と同時に切断されたため確認できなかった。

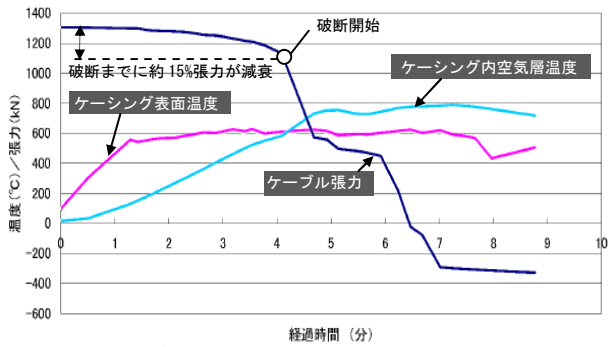


図-6 温度/張力の時間的な変化 (間接加熱法)

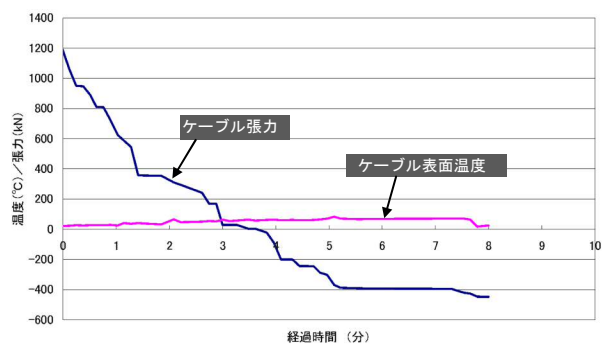


図-7 温度/張力の時間的な変化 (直接加熱法)



写真-8 間接加熱法



写真-9 直接加熱法

5. 現場への適用

室内実験より、間接加熱法による切断が可能であると考え、現場に適用した (写真-10~12)。実際のPC外ケーブルは、支点間距離が16mあり実験時より9m長くなるため、衝撃が大きくなることが想定された。そのため、鋼より線の戻りやばらけを抑えるため、拘束バンドや抑え金具等を設置したが、写真-12のとおり、鋼より線は想定以上にばらけた。より安全な作業とするには、鋼より線のばらけ対策が今後の課題である。また、破断開始温度などは実験で検証したとおりの結果となり、無事にPC外ケーブルの張替えを終わらせることができた。

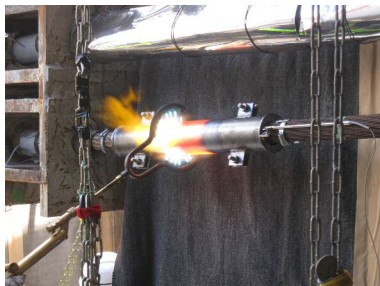


写真-10 間接加熱状況



写真-11 切断後



写真-12 鋼より線のばらけ状況

6. おわりに

今回は、間接加熱法の採用により、張力が残存したPC外ケーブルの切断を安全に施工することができた。当工法の原理を応用し、加熱箇所数を適切に設定すれば、ケーブルを破断させず延性変形だけで全張力を解放させることができる可能性もある。

このように、張力解放技術として発展可能性のある当工法のケーシングパイプは、首都高速道路(株)ほか3社にて意匠権の登録申請中である。

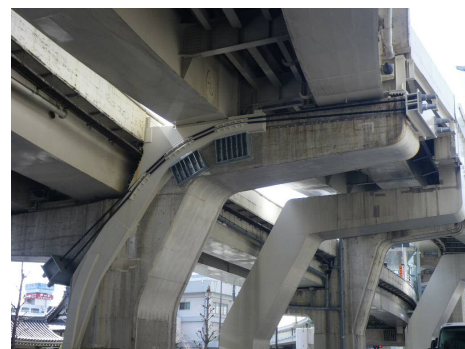


写真-13 張替え後の状況