

外ケーブル構造の利点と問題点

石 橋 忠 良*

1. はじめに

外ケーブルの歴史は西欧では古いですが、ケーブルの防錆対策の未熟さのため良い結果が得られず、内ケーブルが主流となっていた。最近ケーブルの防錆技術の向上と太径ケーブルの開発により、欧米で外ケーブル方式の PC 橋が見直されてきているが、我が国ではまだ本格的に採用された例は少ないのが現状である。

我が国でも土木学会示方書に限界状態設計法が採用されたが、まだ実務レベルの示方書は許容応力度法のままのものが多く、限界状態設計法への改訂の途中にある。設計法が限界状態設計法に移行すると、設計の思想がより明確になり、鉄筋コンクリートとプレストレストコンクリート（以下 PC と呼ぶ）の設計上の不連続性もなくなり、外ケーブル使用の利点も明確化してくるものと思われる。

2. 設 計

設計は、終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態の 3 つの限界状態について検討し安全性を確かめることが必要である。

2.1 終局限界状態

(1) 曲げ耐力

つり合い鋼材比以下である一般的な部材において、付着ある鋼材を用いた部材の曲げ降伏耐力は、鋼材の降伏強度×鋼材量に比例している。

外ケーブルの場合は、コンクリートとの付着がなく、定着部のみでコンクリートと一体化されている。このた

め部材の各断面で鋼材のひずみとコンクリートのひずみは同一位置でも等しくならず、平面保持の関係が成立しない。外ケーブルは変向部での摩擦の影響はあるが、全長を通じて同一ひずみに近い挙動をする。桁の変形に伴い外ケーブルのひずみも増加するので、この増加量を評価しようとしての研究も種々行われている。この外ケーブルのひずみ増に影響する要因としては以下のものが考えられている。

- (a) PC 鋼材有効引張応力
- (b) 外ケーブルの支持間隔
- (c) PC 鋼材断面積（外ケーブルおよび付着ある鋼材）
- (d) スパン長と部材有効高さの比
- (e) 材料品質
- (f) 荷重の載荷状況
- (g) PC 鋼材とダクトの摩擦
- (h) PC 鋼材配置形状、寸法 等

このように多数の要因をすべてカバーできる計算方法はまだ提案されていないのが現状である。我が国での実施例では、外ケーブルの効果を終局時にも有効プレストレスのみと安全側の設計をしているのがほとんどである。有効プレストレスのみでは鋼材応力度としては 0.6 P_y （降伏強度）程度であるので、付着ある鋼材に比べると終局強度では不利である。

(2) せん断耐力

せん断耐力も、付着ある PC ケーブルを用いた方が付着のない外ケーブルを用いた場合より、ケーブルの配置形状とプレストレスが同一なら耐力はひずみの増加が確実に期待できるので有利である。しかしケーブル配置に関しては、外ケーブルは直線配置となり、また緊張力の摩擦ロスが少ないという効果が外ケーブルには期待できる。

2.2 使用限界状態

使用限界状態に関しては、付着あるケーブルも外ケーブルも設計上は同一に扱われる。外ケーブルは摩擦による導入力のロスが小さくできるというメリットがある。

2.3 疲労限界状態

付着あるケーブルの場合は、最大断面力の箇所での応力振幅が問題となる。外ケーブルの場合は、ケーブル全長にわたって応力度が平準化される傾向にあるため、疲



* Tadayoshi ISHIBASHI
JR 東日本東北工事事務所
工事管理室長

労への最も弱点である定着具付近が問題となる。しかし、いずれの場合も応力度の変化が小さいので、一般には疲労が問題となることは少ない。

2.4 外ケーブルの使用方法

(1) 新設の橋梁

外ケーブルを用いた新設の PC 橋での、その用い方を以下に示す。

(a) 全ケーブルを外ケーブルとし、支点上の横桁のみで全ケーブルを定着している。

(b) 全ケーブルを外ケーブルとし、定着を横桁に分散している。

(c) 外ケーブルと内ケーブルを併用している。

以上の方式のうち最近では (c) の併用方式が増加しているようである。

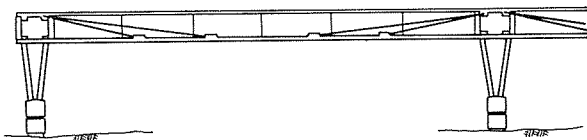
外ケーブルを用いた桁の断面は、大部分が箱形断面である。これは外ケーブルの配置および防錆上、箱形断面が有利であることによると思われる。

(2) 補修の場合

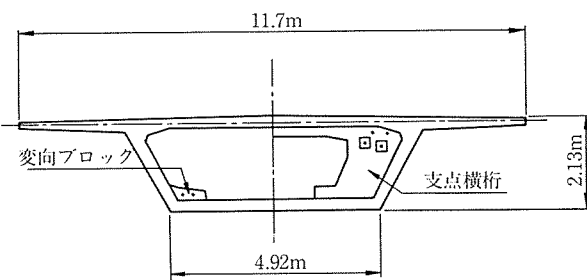
補修における外ケーブルの使用も多く行われている。既設の構造物に対してケーブルを配置するため、定着部、変向装置の位置が、変状状態、既設構造物の構造により制約される。

3. 材料・施工

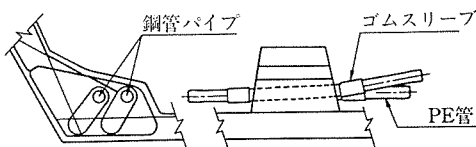
3.1 ケーブルの配置、種類



(a) 一般図



(b) 断面図



(c) 変向ブロック詳細図

図—1 外ケーブルを用いた橋の例 (米国)

外ケーブルは横桁あるいは固定突起のみで桁本体と接触する。ケーブルはこの横桁あるいは固定突起間は直線形状となる。図—1 に外ケーブルを用いた橋梁の一般図と横桁および変向ブロックを一例として示す。

外ケーブルのダクトの材質とグラウトは、ケーブルの取替を考慮するかしないかで大別できる。

ケーブルの取替を考慮しない場合はポリエチレン管 (以下 PE 管という)、鋼管等のシーすを用い、モルタルグラウトするのが一般的である。PE 管、鋼管のシーすは、変向部の鋼管に接続あるいはこの鋼管内を通過させ、定着部の鋼管トランペットシーすに接続させる。

ケーブルの取替を考慮する場合は、ケーブルの変向部、定着部などコンクリートと接触する部分に鋼製等の外管を配し、ケーブル本体は PE 管とモルタルグラウトの組合せにするのが一般的である。

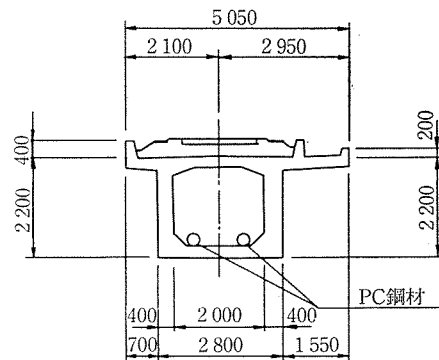
その他、防錆対策としては、亜鉛メッキあるいはポリエチレンコーティングしたケーブルを用いてグラウトなしで使用したり、アンボンドタイプのケーブルも用いられた例もある。グラウト材としてはモルタルグラウトのほか、セメントミルク、グリース、石油ワックス等が用いられている。

4. 外ケーブルの使用例

外ケーブルを用いた鉄道橋の例を表—1 に示す。鉄道橋では主として PRC 桁に用いている。鉄筋コンクリート桁はスパンが 25 m 付近を超えるとひびわれ幅が大きくなり過ぎる例が多く、25 m を超えるスパンでは桁を採用してきた。この 25 m を幾分超えたスパンの PC 桁を PRC 桁として設計し、それに外ケーブルを用いたも

表—1 外ケーブルを用いた鉄道橋

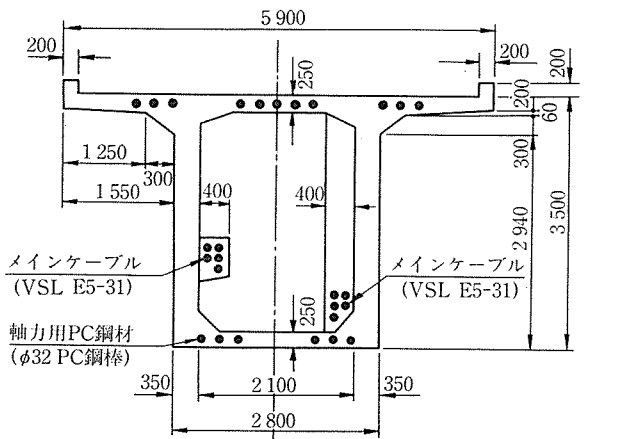
| 線名 | 構造 | 桁長 (m) | 桁高 (m) | 連数 |
|-------|-----------|----------|---------|----|
| 東北新幹線 | 複線 2 室箱形桁 | 30 | 2.6 | 2 |
| 埼京線 | 〃 | 30 | 2.6 | 2 |
| 東北新幹線 | 三線 2 室箱形桁 | 48+80+48 | 2.3~4.4 | 1 |
| 奥羽本線 | 単線 1 室箱形桁 | 25.8 | 2.2 | 2 |
| 福塩線 | 単線 1 室箱形桁 | 32.4 | 2.75 | 2 |



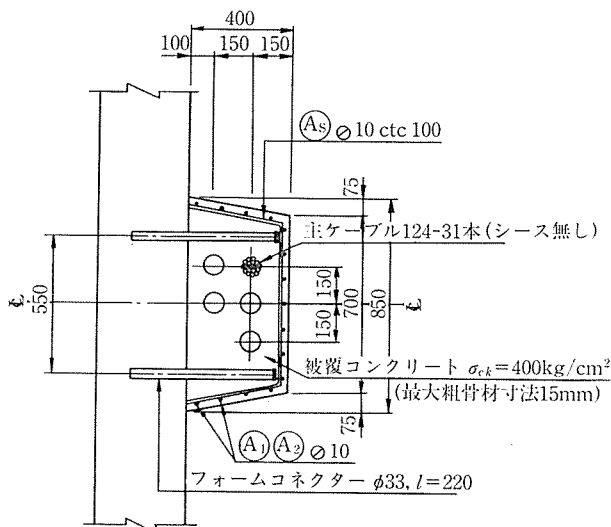
図—2 外ケーブルを配置した桁の断面

のが大部分である。桁断面はすべて箱形断面であり、外ケーブルはこの箱内に配置している。一例を図-2に示す。PC桁としては東北新幹線の笹目川橋梁（3径間連続桁）に内ケーブルと併用して外ケーブルを用いている。終局限界状態（破壊耐力の検討）に対して全ケーブルに付着を期待しなくても余裕があり、かつ使用限界状態（設計荷重時）の検討で必要PC鋼材量が定まるので、一部のケーブルを外ケーブルとしている。これにより、ケーブル配置、配筋が容易になり、かつ桁断面の縮小も可能となった。本橋梁の施工はカンチレバー工法であるが、張出し時はブロック施工に応じて順次継いでPC鋼棒を内ケーブルとして用いている。架設後の活荷重や桁上面荷重に対しては、強度の大きい大容量のPCケーブルを用いている。このうちの一部を外ケーブルとしている。

表には載せていないが、施工時のみ外ケーブルとし、



(a) 標準断面



(b) 主ケーブル被覆構造図

図-3 ケーブル配置（樽見線第10根尾川橋梁）

完成時にはコンクリートを巻いて一体化をはかった例として樽見線第10根尾川橋梁がある（図-3）。本橋梁は押出し工法で施工され、施工時はPC鋼棒を内ケーブルとして用いている。架設終了後の設計荷重用に外ケーブルを採用したが、緊張までが外ケーブルの状態、その後コンクリートを打設し包み、桁を一体化させている。支点の横桁、中間横桁、リブ内のみシースを設けている。

5. 利点、問題点

5.1 外ケーブルの利点

外ケーブルは、PCケーブルをコンクリート部材断面の中に入れず外に配置し、支点上や中間横桁部等で保持し、その方向と偏心距離を確保し外力に対抗させるものである。従来の内ケーブルの場合のケーブル配置形状はパラボラ状であるが、外ケーブルの配置形状は多角形となる。

橋梁を例にとって、外ケーブルの利点を内ケーブルに比較すると以下ようになる。

(1) ウェブやスラブ等の部材厚の減少

内ケーブルの場合、ケーブルの配置上や、定着具の配置上から最小断面が制約される例がある。この場合、すべてあるいは一部のケーブルを外ケーブルとすることで、ウェブ厚や床版厚等を小さくすることが可能となり自重の低減が可能となる。

(2) 施工性の向上

ケーブルを桁断面外に配置するので、ウェブや床版の鉄筋籠の中でのシースの配置、取付け固定作業の減少がはかれる。また、コンクリート断面内にシースが無いあるいは減少するのでコンクリートの打設が容易となる。これらの施工性の向上より、工期の短縮も可能となる。

(3) ケーブルの取替え等維持管理が容易

ケーブルが腐食した場合、あるいは緊張力が必要な値となっていない場合等の欠陥があっても、取替えや再緊張が容易である。

(4) グラウトの信頼性の向上

過去に施工されたPC桁でグラウト施工が不十分のため、施工後10年程度でクラック等の変状が生じ、グラウトを再施工した例が多く存在している。このグラウトの再施工にあたっては、桁の各部にグラウト用の穴をあけて実施している。グラウト施工の不十分とは、桁の全ケーブルのうち数本に対してグラウトがされていない例や、グラウトの品質や施工方法が不十分のため、シースの上側や定着具近く等や曲げ上げられたケーブルの上の部分ブリージング水等の集まった結果、空隙とな

っている例をいっている。これらグラウトの不十分さを施工後に確認することは内ケーブルの場合困難であるが、外ケーブルの場合は比較的確認は容易であり、かつ不良の場合の補修も容易である。

5.2 外ケーブルの問題点、今後の課題

施工面等多くの利点をもつ外ケーブルであるが、問題点および今後の課題を以下に示す。

(1) 耐力の適正な評価式の確立

内ケーブルは平面保持の仮定が成立するので、PC 鋼材の強度は降伏強度まで十分利用できる。しかし、外ケーブルは全長を通じてひずみが平準化されるので最大断面力の位置でも支点付近でもあまり変化しない傾向となり、降伏強度までの利用は困難である。終局耐力は内ケーブルに比べて一般に小さくなる。有効プレストレスからの鋼材のひずみの増加を構造に応じて適切に評価する方法の確立が必要である。

(2) ケーブル防護管の信頼性の向上

外ケーブルはコンクリートとの付着がないため、ケーブルの一部の欠陥や腐食が全断面の耐力に影響する。直接外気にふれるシースとして PE 管、鋼管等耐久性と強度の十分満足する材質のものを選ばねばならない。

(3) 変向ブロックの設計法の確立

ケーブルが方向を変えるのは変向部のみで行うので、ここには大きな力が作用する。また、変向部は主桁やス

ラブの部材から外に出ているので、この力は部材に偏心モーメントや、接合部に大きなせん断力を生じさせる。ケーブルの曲げ半径、曲げ角度と支圧に対する補強方法の確立等合理的・経済的な変向ブロックの設計法を確立する必要がある。

(4) ケーブルの防振対策

配置されたケーブルの固定間隔が大きい場合、ケーブルに大きな振動が生ずることがあるので、10m 程度以下で固定する必要があるといわれている。この固定点としては、支点、横桁、変向ブロックを利用している。

6. おわりに

外ケーブルの利点と問題点について述べたが、我が国での実施例もまだ多くない構造であり、今後実施例が増すにつれ明らかになってくる事柄もあるものと思われる。不十分な内容であるが幾分でも今後の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 古賀政二郎、富沢三郎：アウトケーブル方式の PC 橋梁，プレストレストコンクリート，Vol. 31, No. 1, 1989
- 2) SEEE 協会：アウトサイドケーブル方式の PC 橋に関する調査報告書，昭和 62 年 3 月
- 3) 玉木稔，阿部哲二，徳丸民夫：アウトサイドケーブル方式による押し出し工法の施工，Vol. 25, No. 1, 1983

【1990 年 6 月 21 日受付】

◀ 刊行物案内 ▶

新しい PC 技術とその展望

(第 16 回 PC 技術講習会テキスト)

頒布価格：4 000 円 (送料 450 円)

内 容：(1) プレキャスト・セグメントを用いた WT 断面道路橋と吊床版歩道橋 (チェコスロバキヤの例)，(2) プレストレストコンクリートによる合成床版について，(3) 北陸自動車道親不知海岸高架橋 (PC 橋) の設計と施工，(4) 支保工による PC 橋施工上の留意点について，(5) 橋梁支承部に設置されている制震構造と代表的 PC 橋，(6) 海外の PC 構造物の近況