

上部工耐震補強の設計と施工

～福岡北九州高速道路公社上部工耐震補強工事について～

The Design and Construction of Seismic Reinforcing for Superstructure

秋谷 由則

Yoshinori AKIYA

(株)橋梁メンテナンス東京事業所
工事部工務課係長

小松 和憲

Kazunori KOMATSU

(株)橋梁メンテナンス東京事業所
工事部工務課

永井 敏彦

Toshihiko NAGAI

(株)橋梁メンテナンス関西事業所
工事部次長

西川 隆博

Takahiro NISHIKAWA

(株)橋梁メンテナンス関西事業所
工事部工事課係長

川崎 嘉則

Yoshinori KAWASAKI

(株)橋梁メンテナンス関西事業所
工事部工事課

福岡北九州高速道路公社の福岡事務所では、平成13年度から本格的な上部工耐震補強工事に着手した。まずは福岡高速1号線から。1号線は初期に建造されたもので、単純桁が多い区間である。13年度に発注された工区は全部で8工区。その後、14年度に数工区追加され、多くの橋梁補修業者が参加した。

今回の工事では、業者間の設計・施工の統一を図るために、設計・施工マニュアルを作成した。このマニュアルを基に、支承取替・落橋防止システムの構築が行われた。

キーワード：耐震補強、支承取替工、落橋防止工、変位制限工

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震を境に、上下部工の耐震補強に注目が集まり、数多くの工事が行われてきた。

平成13年度に発注された福岡北九州高速道路公社の上部工耐震補強工事では、既設橋の支承取替あるいは改良、落橋防止システムの構築に着目し、工事に適合した設計・施工マニュアルの基本形を作成した。

ここでは、マニュアルの抜粋を取り上げるとともに、当工事の内容について報告する。

2. 工区の概要

工事名称：東浜～石城上部工耐震補強工事（13-6）

工事場所：福岡高速1号線

福岡市東区東浜1丁目～博多区石城町地内

工事対象位置：I-211～228橋脚上

工 期：平成13年12月19日～平成16年3月10日

概 要：本工区の高架橋は、上層にⅢ測線（香椎行き）、下層にⅡ測線（天神行き）の二層構造である。工区内にはジャンクション区間、また、河川上の区間もある。

- ① 上部工形式…単純合成箱桁橋、単純合成Ⅰ桁橋、3径間連続非合成Ⅰ桁橋
- ② 下部工形式…鋼2層ラーメン脚、RCラケット型脚



図1 位置図

3. 工事内容

今回の耐震補強工事の主な工種は、支承取替、落橋防止システムの取り付けであった。

- ① 支承取替工……………353基
- ② ジャッキアップ補強工…353箇所
- ③ 落橋防止装置取付工……221ケーブル
(変位制限機能付きケーブル 10箇所含む)
- ④ 変位制限装置取付工……橋軸・直角方向＝各10箇所
- ⑤ 詳細設計……………一式
- ⑥ その他……………排水装置撤去・復旧

4. 設計・施工マニュアルの作成

今回の耐震補強工事は数工区に分けて発注されたた

め、工事に先駆け受注業者による設計部会および施工部会が発足された。各部会によりマニュアルを作成し、各工区統一事項で設計および工事は進められた。

表1 設計・施工マニュアル目次

設計マニュアル	施工マニュアル
第1章 総則	第1章 総則
第2章 支承取替	第2章 足場設備
第3章 ジャッキアップ	第3章 支承取替工
第4章 落橋防止構造	第4章 落橋防止装置 (PCケーブル工)
第5章 変位制限構造	第5章 変位制限装置
第6章 その他	第6章 出来形規格値
6.1 桁かかり長	第7章 品質検査
6.2 段差防止構造	第8章 現場検査チェック シート(参考)
6.3 ジョイント プロテクター	
6.4 数量算出要領	

5. 設計・施工方針

本工事の目的は、主に支承周りの耐震性能を強化し、確実に地震力を上下部構造間で伝達し、予期せぬ構造系の破壊が生じても落橋を防ぐことである。

(1) 支承取替

本工事では桁連結化を行わないことより、製作・施工コストで有利な鋼製支承に取り替えることを原則とする。ただし、都市内施工であるため、コンクリートがら・粉塵・塗装の飛散・騒音・落下物など、環境に配慮する必要がある。

新設支承形状が既設橋梁空間に収まらないなど取り替えが困難な場合は、既設支承をタイプAと見なして残置し、落橋防止システムを別途設置する。

(2) 落橋防止システム

道路橋示方書・同解説に従い、支承条件毎に要求される落橋防止システムを選定する。

- ① 落橋防止構造……“桁－桁”連結を基本とする。施工性、実績よりPCケーブルを使用する。
- ② 変位制限構造……タイプB支承に取り替えられない箇所は、既設支承（タイプA）を残置し、変位制限装置を別途設ける。
- ③ 桁かかり長……道路橋示方書・同解説に従い確保する。
- ④ 段差防止構造……段差の目安を20 cmとし、支承高の1/2の値がこれを超える場合は設置する。
- ⑤ ジョイントプロテクター……支承サイドブロックまたは変位制限構造と兼用し、単独では設置しない。

6. 支承の設計および計画

支承の機能は、常時には、死活荷重に代表される鉛直荷重を円滑に下部構造に伝達すると共に、温度による上部構造の移動を吸収する役割を持っている。また地震時には、下部工からの水平力を受け止め、上部構造を破壊させないと共に、支承自身も破壊しないことが要求されている。

一般的な構造としては、

- ① 鋼製支承（BP-B）
- ② ゴムによる支承（固定可動型、LRB、HDRなど）
- ③ 機能を分離させた支承

が挙げられる。

今回、桁連結は行わず、単純桁は固定・可動の条件で設置されることになった。施工まで入れたコスト面で有利な鋼製支承（BP-B タイプB）を適用することになり、新規標準支承を作成した。

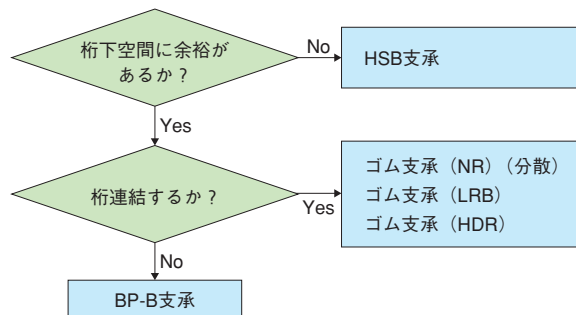


図2 支承選定フローチャート図

(1) 新標準支承の設計

- ① 今回、支承を設計するにあたり、昭和55年標準支承を参考に、呼び反力70 tf, 80 tf, 100 tf, 125 tf, 150 tf, 200 tfの6ケースについて、それぞれ固定・可動の合計12種類を対象とした。

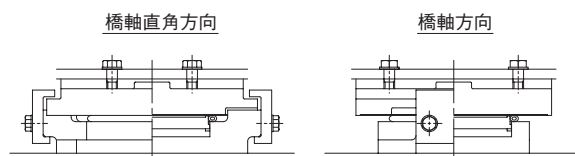


図3 新標準支承図



写真1 鋼製支承（BP-B）

- ② ソールプレートを取り替える場合は、図4に示すように、支間中央側に伸ばし、疲労上の配慮によりテーパー処理を施すものとした。

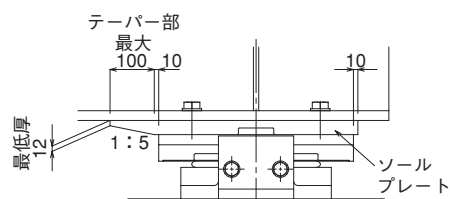


図4 ソールプレートテーパー加工図

(2) 当工区の支承取替方針

当工区の支承は、I-221橋脚を境に、

I-211～221（若番側）

……S49年以前に設計されたBP・A支承

I-221（老番側）～228

……S55年以降に設計されたBP・A支承

が使用されていた。新標準支承は、S55年以降のタイプを想定していることより、S49年以前の支承タイプはせん断キーの径が大幅に異なるため、ソールプレートの取り替えも必要になった。

支承取替の基本的なパターンは、

Type-1……支承取替＋ベースプレート取替

Type-2……ソールプレート取替＋支承取替

とした。RC橋脚上では、ベースプレートにアンカールルトが付いていることよりベースプレートの取り替えは行わず、Type-2の方法で取り替えを行った。

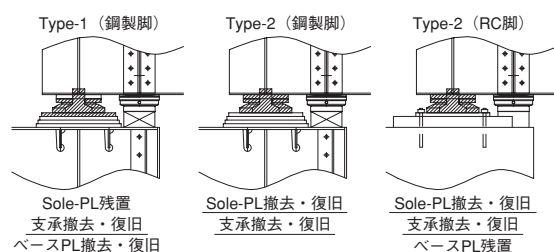


図5 支承撤去・復旧範囲図

7. ジャッキアップの設計および計画

ジャッキアップは、支承交換に際して上部工反力を一時的に仮受けし、桁を上昇させるために行うものである。

(1) ジャッキアップ設計の基本方針

- ① 主桁直下工法を原則とする。
- ② 主桁、下部工の耐力を照査する。

(2) 設計反力

- ① 設計反力は、B活荷重により算出した最大反力の1.1倍を用いる。
- ② 許容応力度の割増は行わない。

(3) 主桁の補強（図7参照）

- ① 主桁ウェブに等辺山形鋼（以下、L形鋼と記す）を取り付け補強する。
- ② 形鋼の取り付けは高力ボルト（M22 S10T）を使用する。ボルト本数は、水平補剛材より下側で必要本数を確保する。
- ③ 補強部材は、原則として工事終了後も残置させる。

(4) 鋼製橋脚横梁内の補強（図7参照）

- ① 鋼製橋脚横梁内の補強は、ジャッキ点直下のダイヤフラムに、L形鋼による補強を基本とする。
- ② 補強部材は、原則として工事終了後も残置させる。

(5) RC橋脚耐力の照査

- ① ジャッキ据付け位置における、コンクリート欠け落

ちに対する照査を行う。

- ② せん断耐力の算出は、コンクリートのせん断抵抗面および抵抗面内の主鉄筋、スターラップ筋を考慮する。

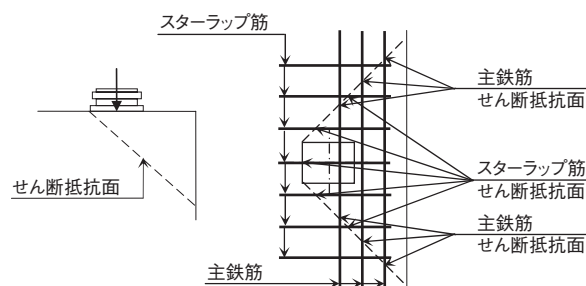


図6 RC橋脚せん断抵抗面図

(6) 当工区におけるジャッキアップ補強構造の設計

- ① ジャッキアップは、主桁直下工法を基本とした。
- ② ジャッキアップ補強材のタイプ
 - ・2-L型：L形鋼2本を取り付けるタイプ。
 - ・4-L型：L形鋼4本を取り付けるタイプ。
 - ・T型：T型補強材を主桁ウェブの片側だけにボルト締めにて設置するタイプ。

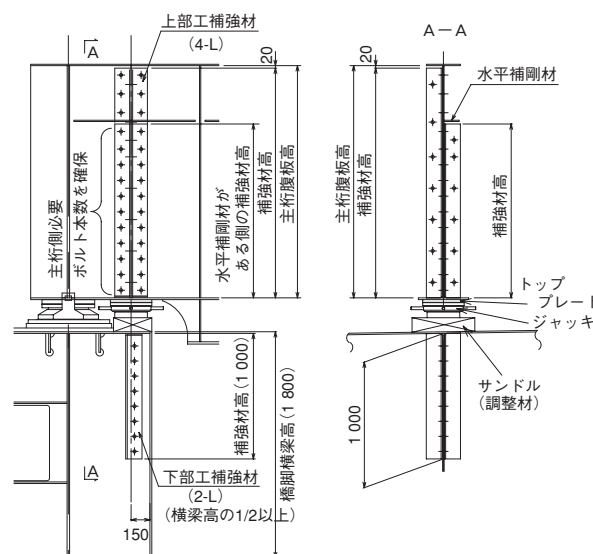


図7 ジャッキアップ補強材取付図

- ③ ジャッキアップ時には、補強材をメタルタッチさせるものとし、母材の溶接と干渉する箇所については補強材の端部をカットして避けた。

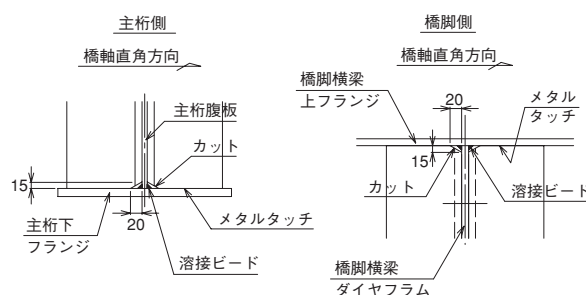


図8 ジャッキアップ補強材端部処理図

8. 支承取替作業

(1) 施工フロー

支承取替の一連の作業を以下に示す。

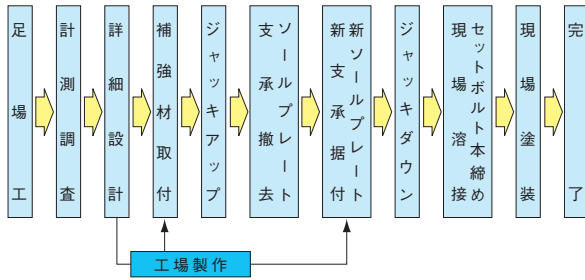


図9 支承取替フロー図

(2) 支承取替前の調査

設計図と現地形状が異なる場合があるため、整合性を調査・確認した後、支承の製作を行う。

計測項目

- ① フランジ板厚・勾配の計測
- ② 支承位置・高さの計測
- ③ ベースプレート・調整プレート・ソールプレート・沓座厚・位置・形状・腐食状態
- ④ 支承アンカーボルト位置・計測
- ⑤ 支承セットボルト位置・計測
- ⑥ 橋台・橋脚・主桁付添架物の位置計測
- ⑦ ジャッキ据付位置の幅、高さ
- ⑧ その他（台座コンクリートの状態等）

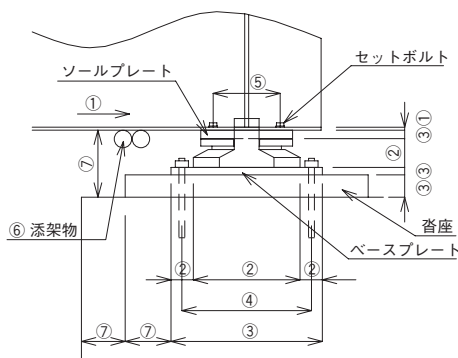


図10 支承取替前調査図

(3) ジャッキの設置（図7参照）

補修に使用するジャッキは、容量・揚程のほか、現地作業の実情に合う機械高・重量等を考慮し決める。



写真2 ジャッキの設置例

ジャッキ本体の据付けに際しては、鉛直に据えるようにジャッキ受台（調整材・サンドル・ライナープレート・ベースプレート等）で調整する。

補強材位置の下フランジの変形を防止し、反力の伝達をスムーズに行うために、トッププレートを設置する。

(4) ジャッキアップ量・反力の計測

一般に道路橋では伸縮装置・排水装置・落橋防止装置・高欄等の添架物があるためジャッキアップ量が制約される。隣接桁との相対差は3 mm以内を原則とし序々にジャッキアップを行う。

作業中はアップ量・反力の計測を行い確認する。

(5) ジャッキアップ（ジャッキダウン）作業

ジャッキアップ（ダウン）は、監視・合図者を決めその合図により複数のジャッキを同時にアップ（ダウン）を行う。

ジャッキアップ（ダウン）は、一支承線上の全支承を同時に行う。取替作業を多橋脚同時に行う場合は一橋脚飛ばしで行う。

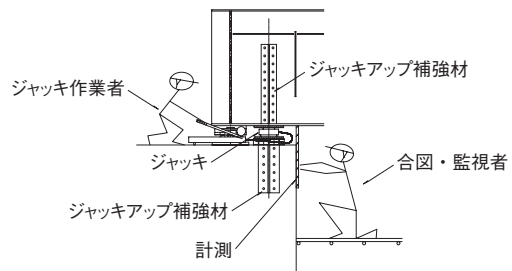


図11 ジャッキアップ作業図

(6) 支承取替作業

- ① ジャッキアップは1橋脚上全て行うが、支承取替は千鳥施工とする。

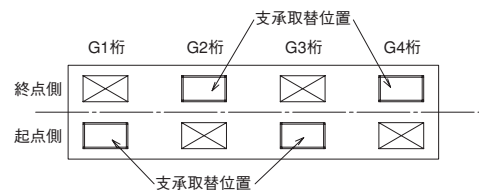


図12 支承取替位置図

- ② 溶接部の切断面および補修溶接完了後グラインダー仕上げを行う。下フランジ下面・ベースプレートの平坦化処理を行う。
- ③ 支承据え付け時の気温（桁温）に応じ下沓をずらして設置（遊間調整）する。

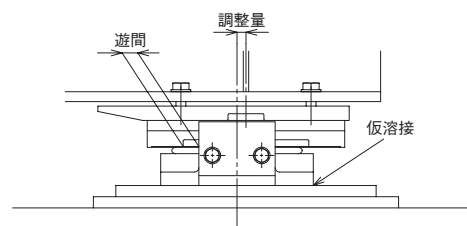


図13 遊間調整図

- ④ ジャッキダウン後、ソールプレートおよび下沓の本溶接を行う。



写真3 支承現場溶接

(7) 機能確認・完成

支承据付け完了後、適切な時期（設置時および2ヶ月に1回程度）に遊間計測を行い、可動支承が温度変化に対して機能していることを確認する。



写真4 支承取替完成

9. 落橋防止工

落橋防止構造とは、落橋防止システムのうち桁端部に設けるもので、下部構造や支承が破壊し、上下部構造間に予期し得ない大きな相対変位が生じた場合に、これが桁かかり長に達する前に機能するものである。

構造としては、

- ・2連の上部構造を相互に連結する構造：「桁－桁」
- ・上部構造と下部構造を連結する構造：「桁－脚」

が挙げられる。

(1) 設計の基本方針

- ① 端支点部には、桁かかり長の確保および落橋防止構造を設置する。
- ② 上下部工の予期せぬ相対変位に対し、桁かかり長を越えない構造とする。
- ③ 隣接する2連の上部構造を連結することを標準とする。連結構造は、PCケーブルを標準とする。

(2) 設計地震力、許容応力度および設計移動量

- ① 落橋防止構造の設計地震力は、 $H_f = 1.5 \times \phi R_d$ 、 $P = H_f / n$ とする。ここで、

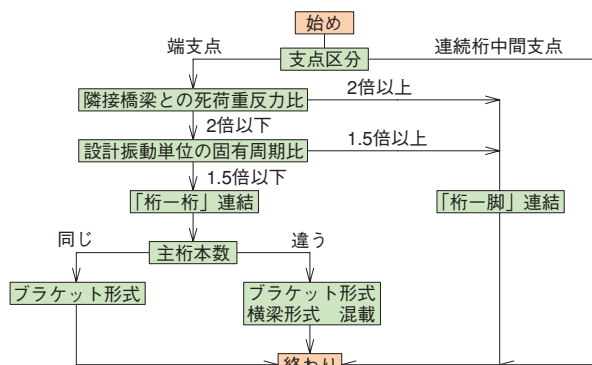


図14 落橋防止フローチャート図

H_f ：落橋防止構造の設計荷重（kN）

ϕR_d ：該当橋脚上での着目上部構造1支承線の合計死荷重反力（kN）

P ：落橋防止構造1組あたりの設計地震力（kN）

n ：落橋防止構造の設置数

とする。

- ② 許容応力度の割り増し係数は1.5とする。
- ③ 設計移動量は $S = 0.75 \cdot S_{EM}$ 以下とする。上下部工連結の場合は、 $0.5 \cdot S_{EM}$ 程度とする。

S_{EM} ：桁かかり長の最小値（cm）

(3) 設置位置

- ① 架設、メンテナンスに支障がない所で、できる限り床版に近づけて配置する。
- ② 「桁－桁」配置……基本的にはレベル配置とする。
- ③ 「桁－脚」配置……基本的には斜め配置とする。

(4) 細部項目

- ① ブラケットの取り付けは、ボルト接合を原則とする。
- ② ブラケットの最小板厚は、主要部材は22 mm、二次部材は16 mmとする。
- ③ ブラケットの防錆処理は塗装仕様を標準とする。RC橋脚に取り付ける場合はメッキ仕様を標準とする。
- ④ ブラケット取り付け部の腹板には、衝撃的な力に抵抗できる剛性を持たせ局部的な応力集中を避ける意味から、腹板とブラケットの間に補強板を挿入する。

厚さ＝腹板と同厚 材質＝SS400材

大きさ＝ブラケット底板の1.5倍以上の面積

(5) 当工区の落橋防止構造の設置方針

当工区の落橋防止構造は、PCケーブルにより隣接橋梁同士を連結する「桁－桁」タイプを標準とした。しかし、隣接橋梁の死荷重反力比が2倍以上の箇所（211、225、228橋脚上）は、「桁－脚」タイプとした。

I -211、225、228橋脚上 ……「桁－脚」連結

I -212～224橋脚上 ……「桁－桁」連結

(6) 取付フロー

落橋防止取付の一連の作業を以下に示す。

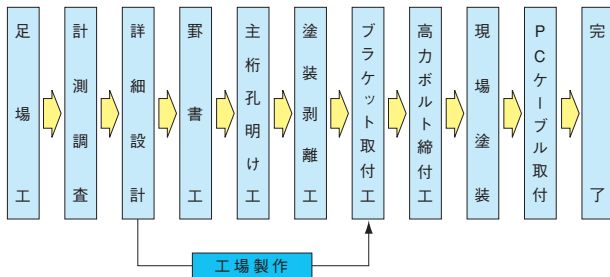


図15 落橋防止取付フロー図



写真5 落橋防止ブラケット取付および完成

10. 変位制限工

変位制限構造とは落橋防止のために設置する各構成要素の一つであり、タイプAの支承部と補完し合い、レベル2地震動相当の慣性力に抵抗し、支承損傷時に上下部構造間の相対変位が大きくならないために設ける物である。

また、タイプB支承を設置する場合は、斜角や曲率の影響により回転脱落の可能性がある橋梁について、これを防ぐために橋軸直角方向に変位制限構造を配置する。

(1) 設置方針

変位制限構造の設置箇所は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編（以下、道示Vと記す）図－解16.1.1「落橋防止システム構成の基本的な考え方」に従うこととする。

また、変位制限構造は以下の構造タイプより施工箇所の状況に応じ選定する。

- ① BP-A支承を残置させる場合：
 - a) 落橋防止構造が「桁－桁」連結の場合
：ブラケットタイプの変位制限構造とする。
 - b) 落橋防止構造が「桁－脚」連結の場合
：橋軸方向に対しては変位制限機能付き落橋防止ケーブル、橋軸直角方向に対してはブラケットを橋脚横梁に設置する。
- ② BP-B支承に取り替える場合
道示V図－解16.1.1により必要な場合は、橋軸直角方向にブラケットを設置する。

(2) 設計地震力および許容応力度

変位制限構造の設計に用いる設計地震力は、

$$H_s = 3 \cdot k_h \cdot R_d$$

ここで、 H_s ：変位制限構造の設計に用いる設計地震力

k_h ：震度法に用いる設計水平震度

R_d ：死荷重反力

とする。

また、許容応力度の割り増し係数は1.5とする。

(3) 遊間量

変位制限構造の遊間は、支承の移動量や回転の機能を損ねないように、

固定側＝20 mm，可動側＝支承移動可能量＋20 mmを標準とする。

(4) 細部項目

- ① 鋼製ブラケットの最低板厚は、主要部材は22 mm，二次部材については16 mmとする。
- ② 主桁および鋼製橋脚に取り付ける部材は、高力ボルトを用いて行うことを原則とする。
- ③ 下部工に設置する鋼製の変位制限構造は、コンクリート橋脚の場合はメッキ仕様、鋼製橋脚の場合は塗装仕様とする。
- ④ コンクリート橋脚天端に鋼製構造の変位制限構造を設置する場合、アンカーボルトにて取り付け、呼び径の10倍以上定着させるものとする。

(5) 当工区の変位制限構造の設置方針

当工区では、支承取替を行う箇所については変位制限構造を取り付けない（斜角、曲線の影響がないため）。よって、支承取替を行わない211橋脚上の若番側の箱桁部についてのみ、変位制限構造を取り付けるものとした。

橋軸方向……変位制限機能付きPCケーブル落防

直角方向……鋼製ブラケット

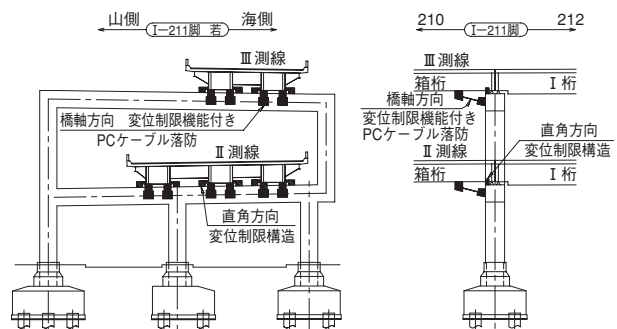


図16 変位制限構造図

11. あとがき

今回の工事では、支承取替・落橋防止システム取付工事の内容を、マニュアルとして文書化することによって、各工区間の統一を行うことができた。本工事でも無事に竣工した。この報告書が今後の工事において、何らかの参考になれば幸いである。

また、適切にご指導をいただいた福岡北九州高速道路公社福岡事務所保全課の皆様とご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。