３．確認された事実

事故の直接原因はＰＣケーブルの緊張時に生じたコンクリートの破壊である。このため、事故後の現地調査や県の報告内容等からコンクリートの破壊状況や関係する設計、材料・機材、施工について調査を行った。

これらの調査によって確認された事実を以下に詳述する。

３．１ コンクリートの破壊状況

（１）現地調査結果

1）破壊箇所・形状

破壊箇所はＡ１側桁端部のＢ４～Ｂ５間である。桁端部に向かってＰＣケーブルが左側に２段、右側に３段あり、緊張作業を行っていたとされる右側上段のＰＣケーブル定着部のコンクリートが破壊していた。

橋梁に斜角があるため、ＰＣケーブル定着部は緊張方向に対して直角となるよう階段状の切欠きが設けられており、左側が凹形状であるのに対して右側は突起形状となっている。

破壊形状は、図 3-1-1、図 3-1-2 に示すとおり支圧板の左上端、左下端、右上端と、凹部の右上端を頂点とする概ね三角錐の形状を呈している。

また、中段ケーブル定着部の突起側面において剥離したような形状での破壊が見られる。

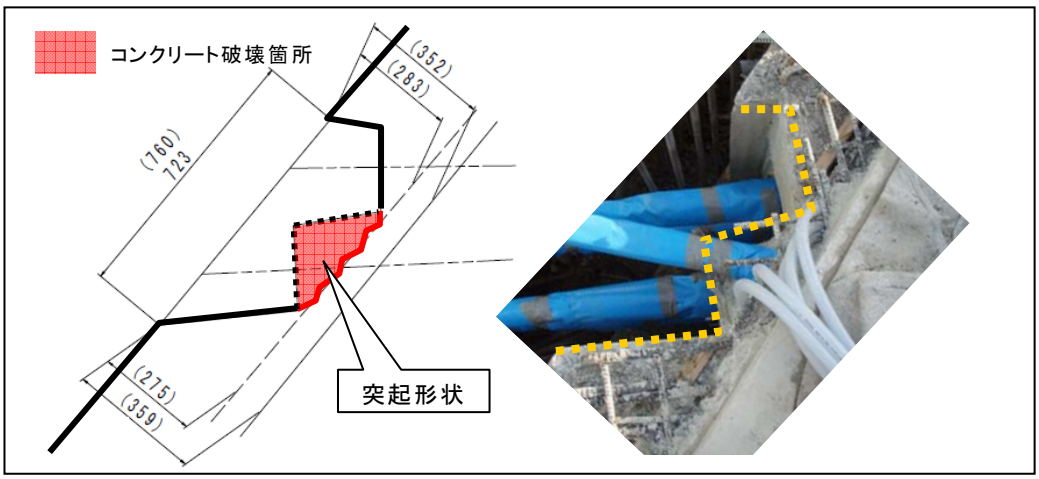


図 3-1-1 コンクリートの破壊箇所・形状（平面）

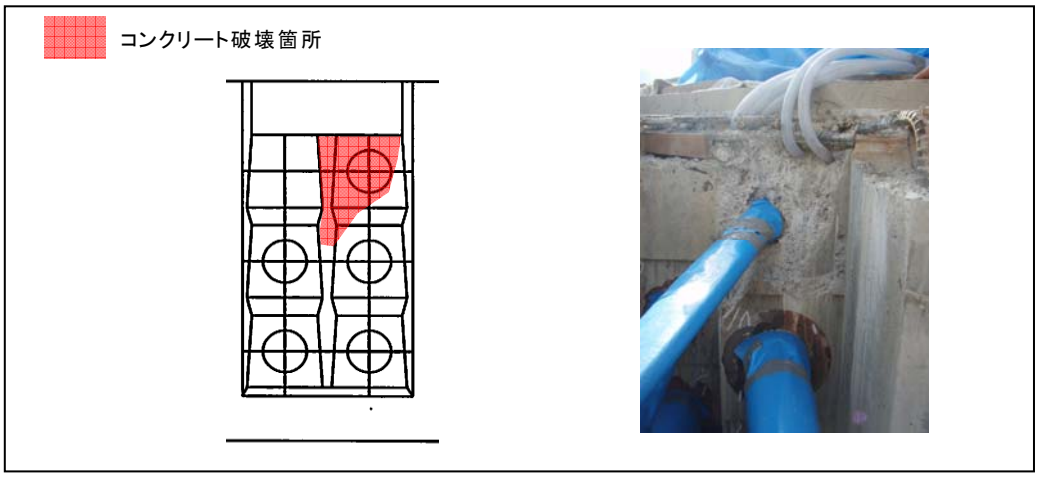


図 3-1-2 コンクリートの破壊箇所・形状（断面）

2）破壊面の状況

破壊面は、図 3-1-3 に示すように左上部ほど損傷の程度が大きく、右下部は支圧板背面のコンクリートが残っている。また右上部には支圧板の擦れた跡が残っている。

破壊面に鉄筋の露出は見られず、破壊したコンクリートは無筋状態である。

図 3-1-3 コンクリート破壊面の状況

（２）コンクリート片の調査結果

破壊により生じたコンクリート片で現地から回収されたものは、図 3-1-4～図 3-1-7 に示すように①～⑬の 13 片である。

1）コンクリート片の破壊前の位置の特定

13 片のうち破壊前の位置を特定できるものは①～⑤の 5 片である。①②は図 3-1-4 に示すように支圧板の跡が残っており、上段のＰＣケーブル定着部のそれぞれ右上と左下に位置するものである。③④⑤は図 3-1-5 に示すように上段ケーブルから中段ケーブルにかけての突起側面であり、②も含めコンクリート片は連続している。

⑥⑦⑧⑨⑩は図 3-1-6 のとおり脱型面があり、⑪⑫⑬は図 3-1-7 のとおり脱型面がないが、いずれも破壊前の位置は不明である。

2）コンクリート片の大きさと形状

③～⑬の大きさは 5cm～20 数 cm 程度で、その形状はいずれも扁平である。

3）破壊面の状況

③～⑬の破壊面において確認される範囲では、骨材の分離や空洞、異物の混入は無く、気泡も少ない。

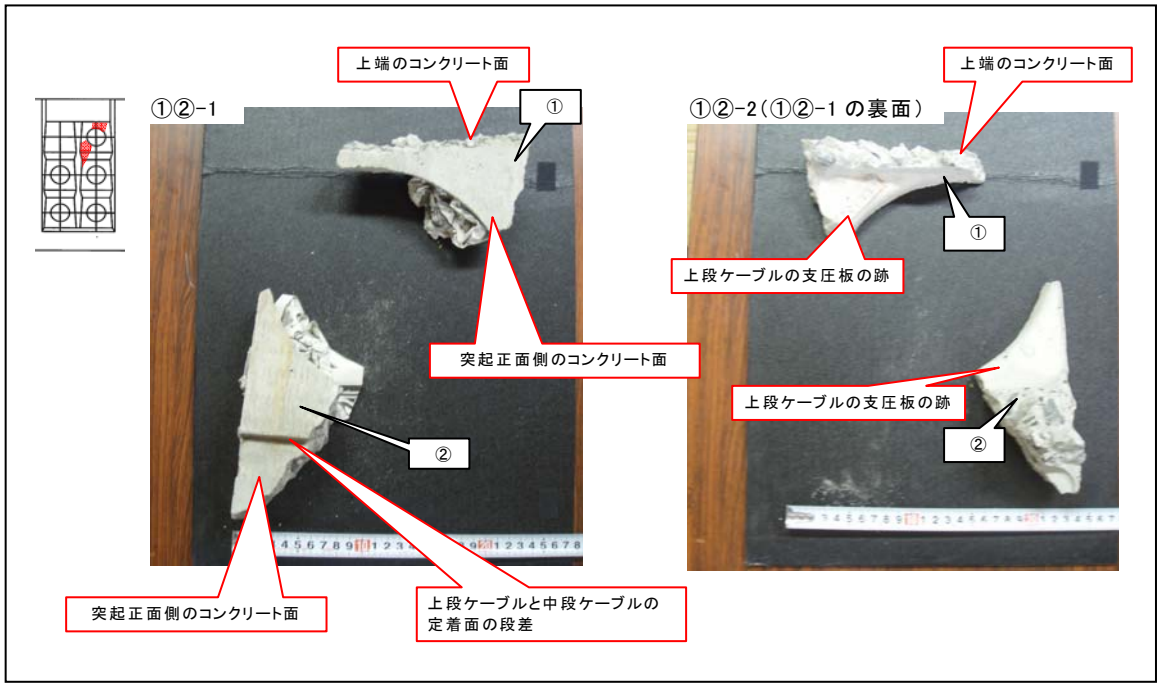


図 3-1-4　コンクリート片①②

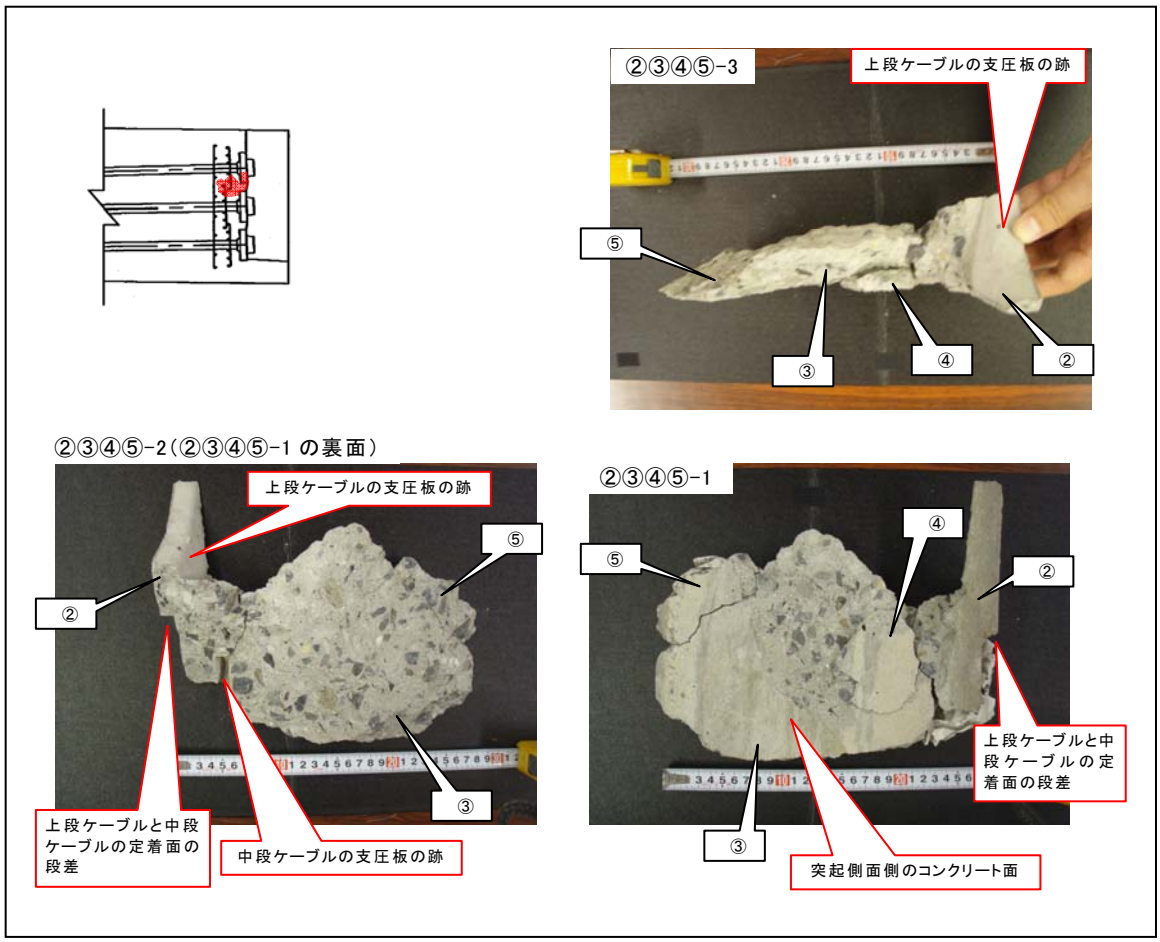


図 3-1-5　コンクリート片②③④⑤

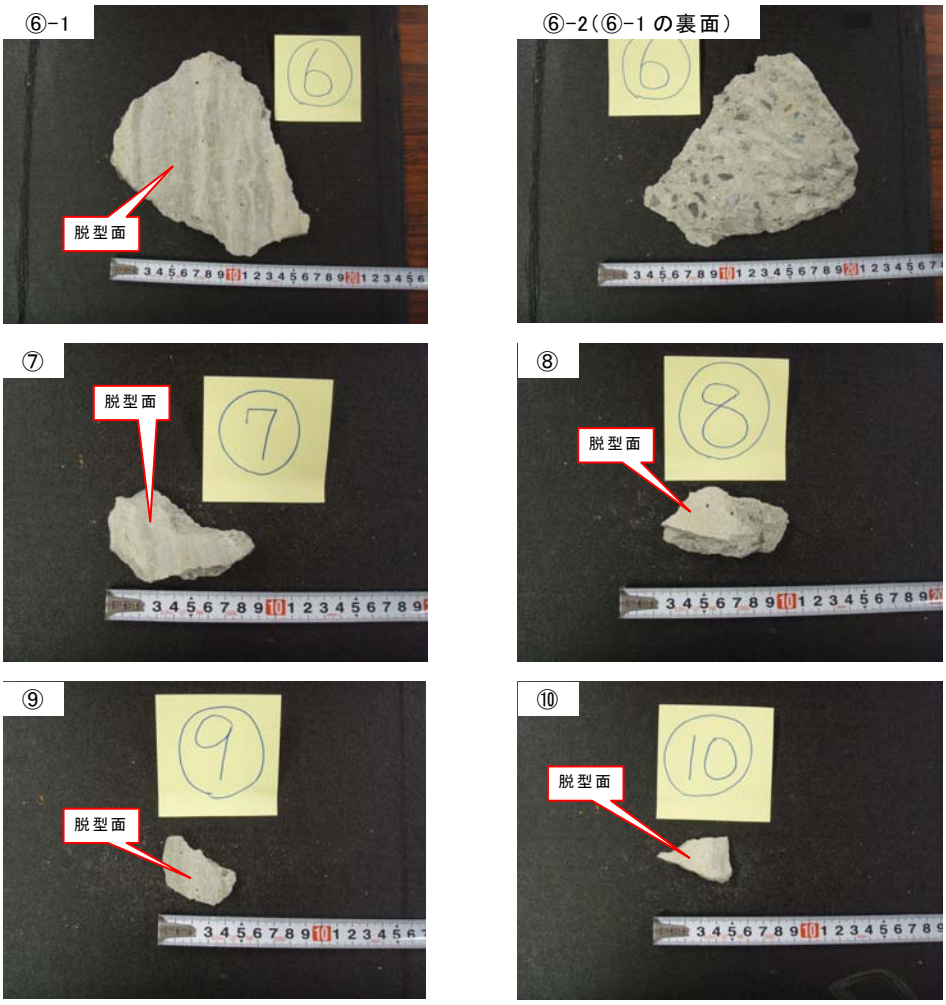


図 3-1-6　コンクリート片⑥⑦⑧⑨⑩

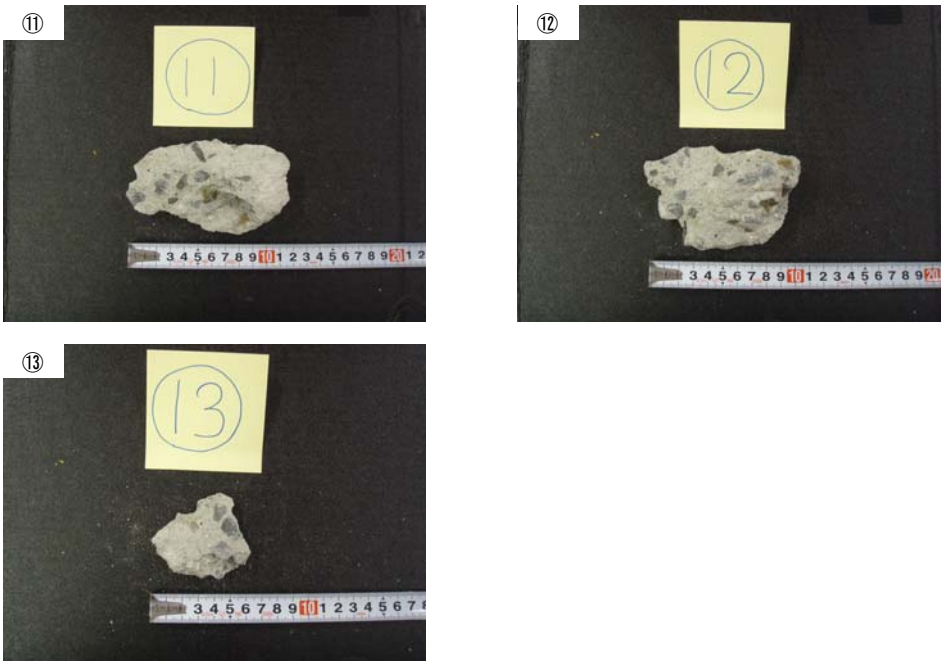


図 3-1-7　コンクリート片⑪⑫⑬

３．２　ＰＣケーブル定着部の設計

（１）ＰＣケーブル定着部の設計概要

本橋の設計は平成 14～15 年度に県の設計委託により行われている。当該設計委託の報告書によると、ＰＣケーブル定着部の設計概要は次の 1）～6）のとおりであった。

1）設計準拠図書

・道路橋示方書・同解説 Ⅲコンクリート橋編　平成 14 年 3 月（以下、「準拠図書①」という。）

・FKK フレシネー工法施工基準 2003 年改訂版（以下、「準拠図書②」という。）

・コンクリート道路橋設計便覧　平成 6 年 2 月（以下、「準拠図書③」という。）

・プレストレストコンクリート工法設計施工指針　平成 3 年 3 月（以下、「準拠図書④」という。）

※準拠図書②は他の設計準拠図書の規定により準用することができる図書である。

2）ＰＣケーブルの定着工法

・フレシネー工法

3）ＰＣケーブルの種類・本数

・12S12.7B 総本数 N=34 本［C1(上段):6 本、C2(中段):14 本、C3(下段) : 14 本)］

4）ＰＣケーブルの配置

・ＰＣケーブル水平間隔 270mm、370mm、400mm

・ＰＣケーブル鉛直間隔 300mm

・水平方向縁端距離 250mm

・鉛直方向縁端距離 300mm

※縁端距離は主版断面隅角部の値を示す。

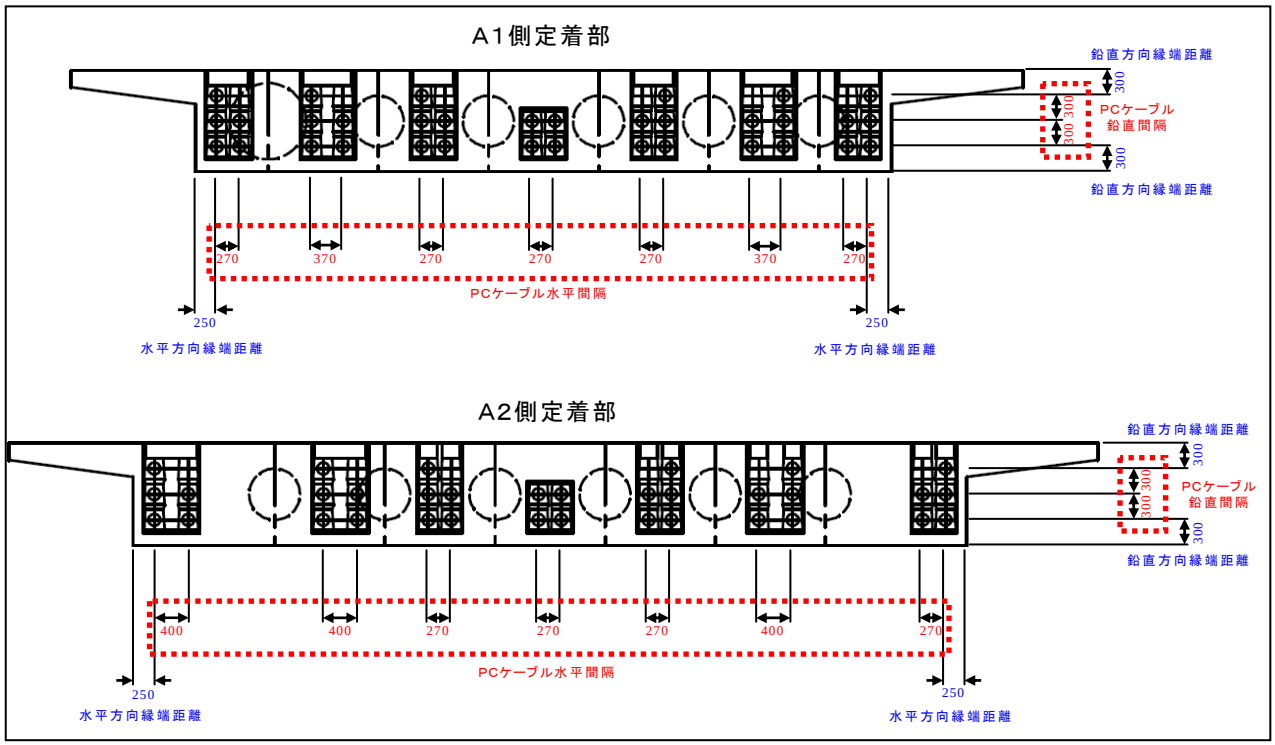


図 3-2-1　PCケーブルの配置

5）補強筋の配置

・各ＰＣケーブルの支圧板背面にグリッド筋が配置されている。

・複数のＰＣケーブルの支圧板背面に対して定着部補強筋が配置されている。

6）プレストレス導入時のコンクリート強度

・σc=29N/mm2

事故箇所におけるＰＣケーブルと補強筋の配置設計を図 3-2-2 に、グリッド筋、定着部補強筋の設計を図 3-2-3、図 3-2-4 に示す。

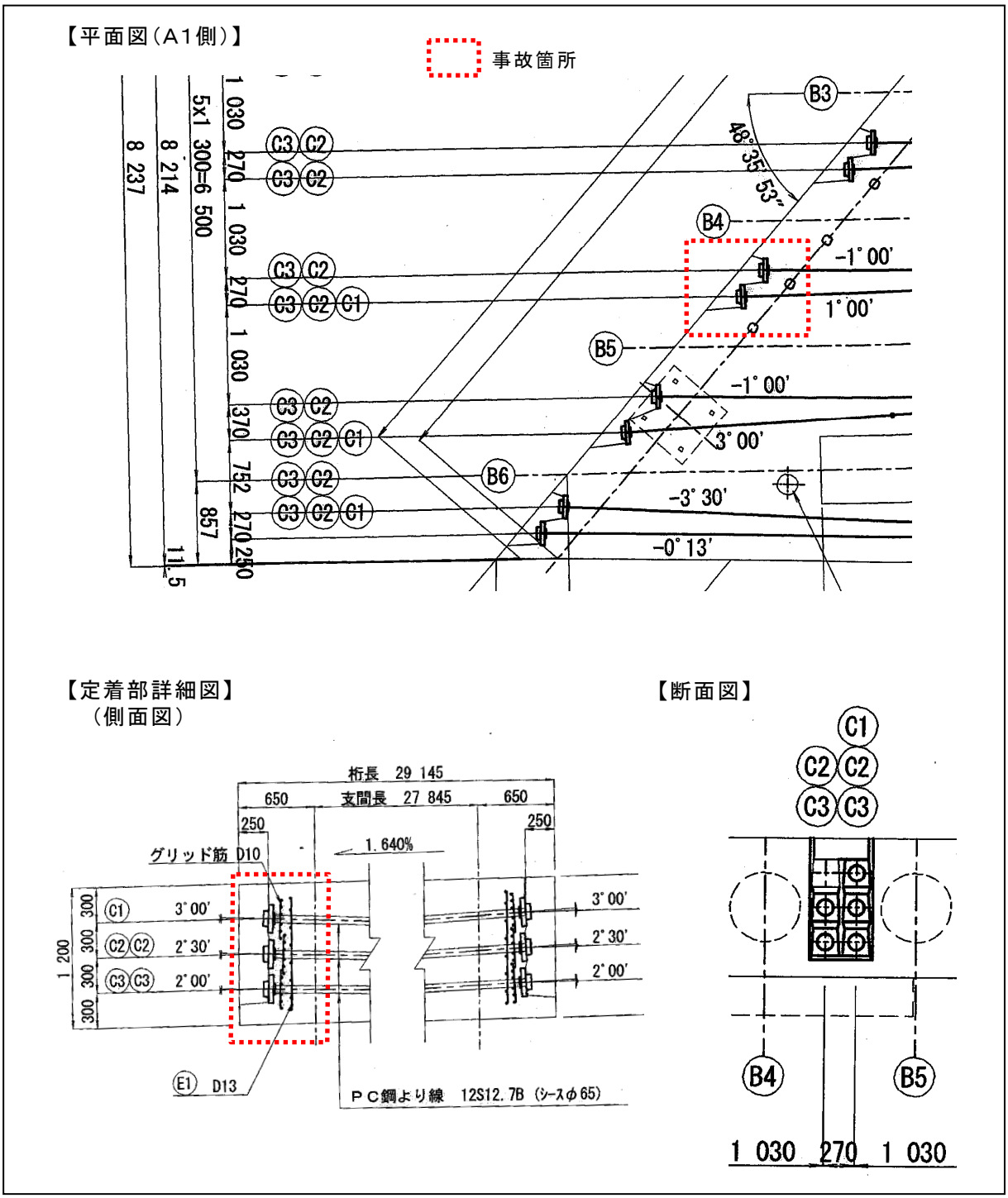


図 3-2-2 PCケーブルと補強筋の配置設計（事故箇所）

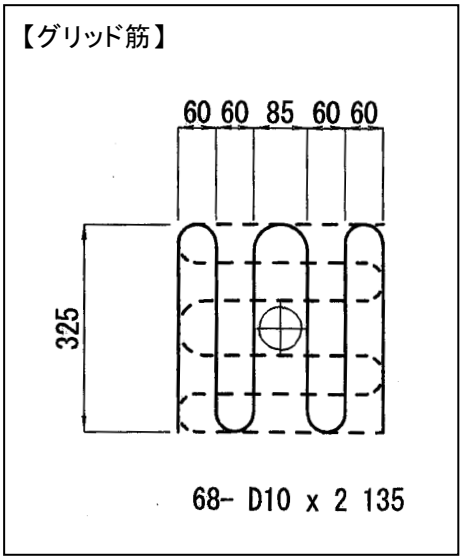


図 3-2-3 グリッド筋の設計

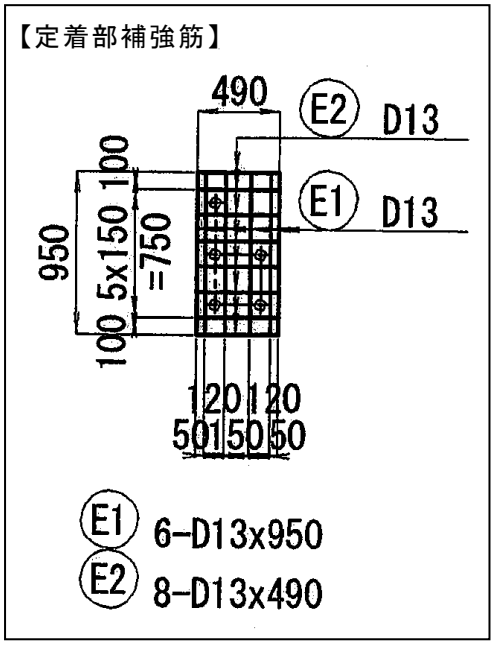


図 3-2-4 定着部補強筋の設計(事故箇所)

（２）設計図の調査結果

設計図（図 3-2-2、図 3-2-3、図 3-2-4）について調査を行ったところ、適用基準・参照された既存技術資料との不整合・不一致が認められたものは、次の 1）2）のとおりであった。

1） ＰＣケーブルの配置

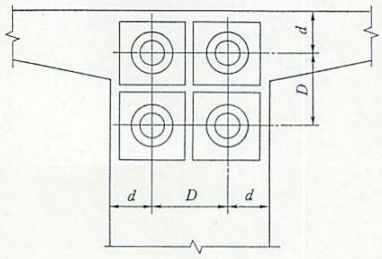
準拠図書②におけるＰＣケーブルの最小配置間隔、最小縁端距離の規定は、基準 3-2-1 のとおりである。

水平方向の配置間隔は、最小配置間隔 D (=270mm) と同間隔であるが、階段状の切欠きによって生じた突起側面を部材端とすると縁端距離は最小縁端距離 d (=180mm) より小さくなっている。

基準 3-2-1 PCケーブルの配置（準拠図書②P39 より抜粋）

2―4 定着具のかぶり及び最小間隔

2―4―1 一般の場合の定着具の間隔



(単位：mm)

種　　別		D	d
マルチワイヤーシステム	12φ5	120	80
	12φ7	140	100
	12φ8	180	115
マルチストランドシステム	7T13	220	135
	8T13	240	145
	12T13	270	180
	12T15	350	220

図 2―35 定着具の最小配置間隔

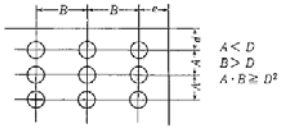


図 2―34 定着具の配置

定着具の配置間隔は実験及び実績に基づいて決めてある。ただし，表記の間隔を縮小する場合は，コンクリートの支圧強度，定着部の補強及び施工性を検討し，安全を確かめる必要がある。なお，多数のコーンを同一平面に定着する必要のある場合には，図 2―35 の値は図 2―34 のように変更してもよい。

記号 d 及び e はいずれも定着具の中心から部材端までの距離を示すが，方向性はない。よって d 及び e は水平方向，鉛直方向で任意に選択する事ができる。即ち，隅角部で一方が d であれば，他方は e となる。ここに $e = 1.5 \times d$ とする。

2) マルチストランドシステム

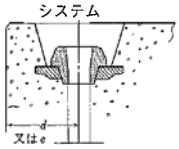


図 2―36 定着具の配置とかぶり

2）補強筋の配置

グリッド筋、定着部補強筋の配置は、図 3-2-2 中の定着部詳細図、図 3-2-3、図 3-2-4 のとおり、側面および断面の配置のみが図示されている。

いずれの図面にも支圧板との離隔の寸法は表示されていないが、定着部詳細図ではグリッド筋、定着部補強筋は支圧板の背面近くの配置となっている。

しかし、定着部詳細図上のグリッド筋、定着部補強筋を仮に平面図上に配置すると、図 3-2-5 に示すように、突起部のＰＣケーブル定着部については、グリッド筋は突起形状とグリッド筋寸法の関係から、躯体内からはみ出すことになり、定着部補強筋は支圧板背面から相当な離隔が生じることになる。

また、準拠図書②には基準 3-2-2 のとおり“グリッド筋のかぶりが確保出来ないような場合には、正方形に形成されたグリッドの面積を変えないで、長方形にしてもよい”との記載があるが、基準 3-2-3 に示す正方形のグリッド筋がそのまま使用されている。

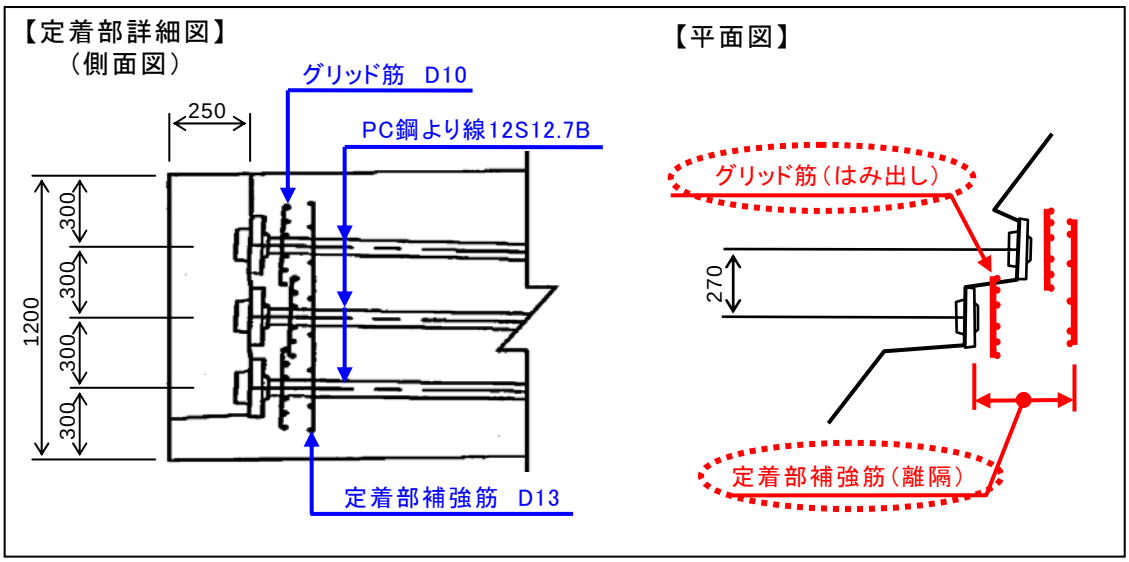


図 3-2-5　補強筋の配置

基準 3-2-2　定着具筋（準拠図書②P31 より抜粋）

2―2　定着具筋（定着具背面の補強鉄筋）

定着具背面には定着具筋（グリッド筋鉄筋あるいはスパイラル鉄筋）を配置して定着具付近のコンクリートを補強しなければならない。グリッド筋は，本基準では定着具毎に鉄筋を曲げ加工したものを２つ重ねて格子を形成することを原則としているが，このピッチを変更しないで直線筋を用いて格子毎の接点を溶接で組んでもよく，グリッドが連続して一平面を形成するような場合には，溶接によって数個のグリッドを一体として製作してもよい。また，コンクリート部材が薄くグリッド筋のかぶりが確保出来ないような場合には（橋梁の上床版等），正方形に形成されたグリッドの面積を変えないで，長方形にしてもよい。尚，部材厚の特に薄い場合にはその部分における設計上の配筋について実態を十分に検討し，上記の補強筋の他にも用心のため補助の鉄筋を追加配置する方がよい。図２―20－21 参照。

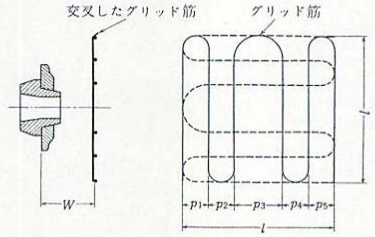
グリッド筋は鉄筋に番線で強固に固定し所定配置に確保する。スパイラル筋はガイドに設けてある孔を利用して固定するとよい。グリッド筋及びスパイラル筋の形状寸法及び配置位置は次のようになる。

※長さ及び質量は参考値

※現場手配品

基準 3-2-3 グリッド筋の形状寸法と配置（準拠図書②P32 より抜粋）

2) 12T13, 12T15



（単位：mm）

種　別	W	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	l	鉄筋径	1本の長さ	1本の質量（kg）
12T13	80～120	60	60	85	60	60	325	D 10	2,140	1.20
12T15	100～140	70	70	120	70	70	400	D 13	2,630	2.62

（注）　鉄筋間隔は径の中心間隔を示す。

３．３ 材料・機材

（１）関係書類の調査結果

施工業者から県に提出された、コンクリート配合報告書および、鋼材試験結果(鉄筋)、鋼材検査証明書(鉄筋・ＰＣ鋼材)、圧力計検査表(緊張ポンプ)、メーカーカタログ(鉄筋・ＰＣ鋼材・定着具・緊張ジャッキ・緊張ポンプ)により確認される範囲では、それぞれの材料・機材に適用される基準を逸脱するような不適正な記載は認められなかった。

なお、これらの書類によると材料・機材の概要は次の 1）～6）のとおりであった。

1）コンクリート

規　　格　：普通 36-12-20H

製造会社　：[redacted]

製品ＪＩＳ：JIS A 5308

工場ＪＩＳ：認証番号 [redacted]

2）グリッド筋・定着部補強筋（設計は SD295A）

規　　格　：グリッド筋 D10 SD345、定着部補強筋 D13 SD345

製造会社　：[redacted]

製品ＪＩＳ：JIS G 3112

工場ＪＩＳ：認定番号 [redacted]

3）ＰＣ鋼材

規　　格　：ＰＣ鋼より線 SWPR7BL 12.7mm

製造会社　：[redacted]

製品ＪＩＳ：JIS　G　3536

工場ＪＩＳ：[redacted]

4）フレシネコーン（定着具）

規　　格　：ﾏﾙﾁｽﾄﾗﾝﾄﾞｼｽﾃﾑ 12T13M220

製造会社　：[redacted]

5）緊張ジャッキ

規　　格　：Ｓ６－Ｒ型（12T13M220 用標準）

製造会社　：[redacted]

6）緊張ポンプ

規　　格　：ＬＥＰ型

製造会社　：[redacted]

３．４ 施工

事故に関係する施工面の事項として、補強筋の配置、グラウトホースの配置、コンクリート打設、コンクリート床版の出来形、コンクリート強度、緊張作業について調査を行った。

３．４．１ 補強筋の配置

突起部のＰＣケーブル定着部の補強筋は、３．２（２）に示したように、設計図のとおりに配置できない設計となっている。

このため、現場における補強筋の配置状況について調査を行った。

（１）工事写真の調査結果

施工業者から県に提出された工事写真を確認したところ、補強筋の配置状況写真は、Ａ１側、Ａ２側とも２箇所ずつであり、事故箇所は撮影されていなかった。

撮影された箇所の工事写真により確認される範囲では、図 3-4-1 に示すようにグリッド筋は斜め配置となっており、定着部補強筋は支圧板との離隔が大きい配置となっていた。

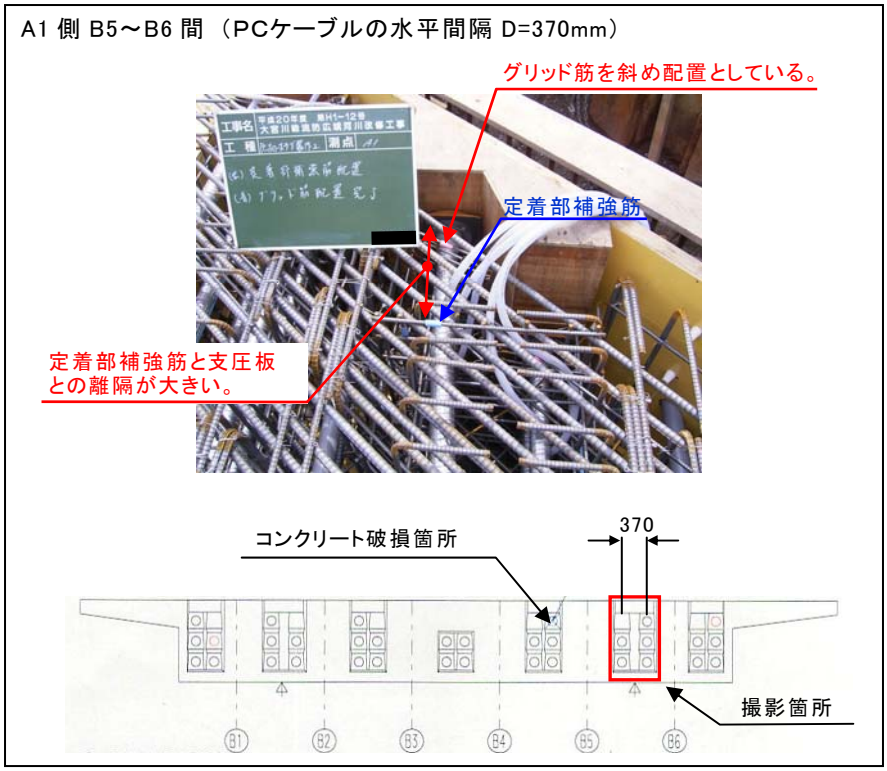


図 3-4-1 補強筋の配筋状況（類似箇所）

（２）はつり実施箇所の現地調査結果

はつりは、県の指示に基づき、施工業者が７月 24 日、27 日にＡ１側桁端部の図 3-4-2 に示す位置で実施している。この２箇所はいずれも事故箇所と同様、ＰＣケーブルの水平間隔が 270mm の箇所であるため、突起部

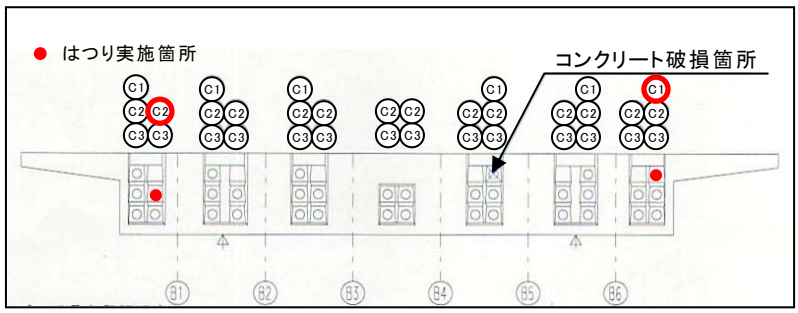


図 3-4-2 はつり実施箇所

の平面形状は事故箇所と同一である。

現地調査により確認したところ、図 3-4-3 に示すとおり、グリッド筋は斜め配置となっており、支圧板と 20cm 以上の離隔があった。また定着部補強筋は確認されなかった。

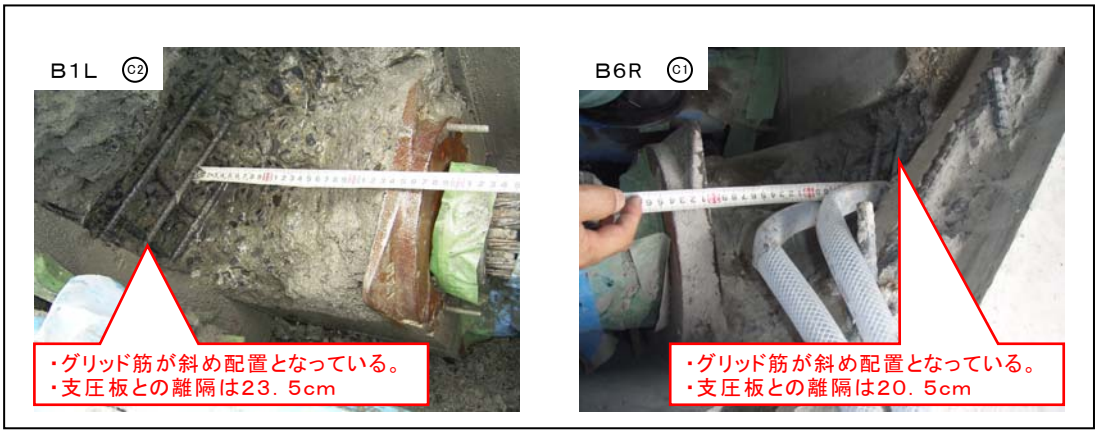


図 3-4-3 はつりの状況

３．４．２ グラウトホースの配置

グラウトホースは部材の弱点となるため、「ＰＣグラウト＆プレグラウト鋼材施工マニュアル(改訂版)2006 年」(社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会）では、“定着具の背面にはグラウトホースを集結させない”と規定されている。

このため、工事写真と現地調査によりグラウトホースの配置状況について調査を行った。

（１）工事写真の調査結果

施工業者から県に提出された工事写真を確認したが、事故箇所のグラウトホースの配置状況が分かる写真は撮影されていなかった。

（２）現地調査結果

図 3-4-4 に示すように５本のグラウトホースのうち左側の３本は支圧板背面から一定の離隔があり、コンクリートの破壊は及んでいなかった。

一方、右側の２本は水平方向に間隔を空けて配置されているものの、コンクリート破壊面の上端に位置し、その直上に露出した鉄筋(D25)があった。

また全てのグラウトホースは、桁端部のコンクリートの上側から出ているが、そのコンクリート表面は仕上げがなされておらず、打込面の高さは一定ではなかった。

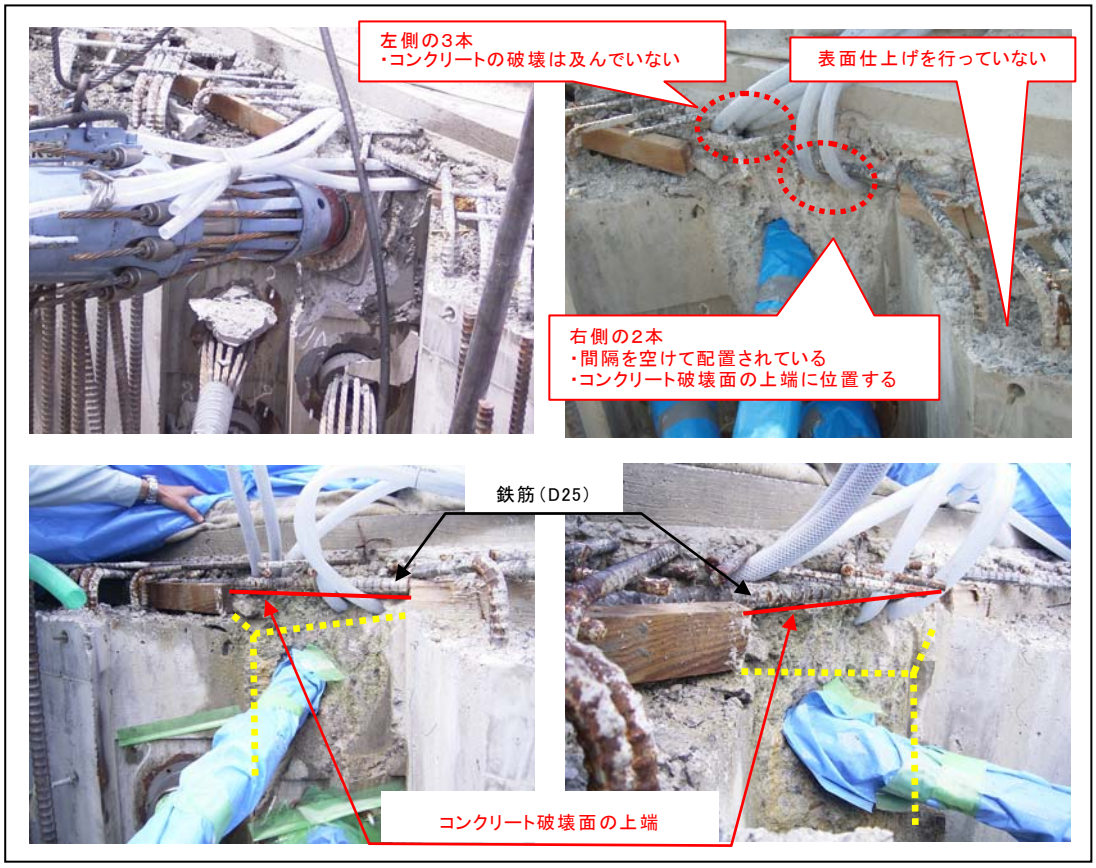


図 3-4-4　グラウトホースの配置状況

３．４．３　コンクリート打設

コンクリートが所定の強度を発揮するためには、空洞や骨材の分離等が発生しないよう適正に打設される必要がある。

このため、コンクリート打設の状況について調査を行った。

（１）工事写真の調査結果

施工業者から県に提出された工事写真を確認したところ、ポンプ車によりコンクリートを打設し、バイブレーターにより締固めを行っている施工状況写真はあったが、コンクリートの充填・締固めの状況は確認できなかった。

図 3-4-5　コンクリート打設状況

（２）配筋図の調査結果

設計図および施工業者から提出された施工図により事故箇所周辺の配筋状況を調査した。設計図、施工図とも鉄筋のかぶりと配置間隔は基準値（最小かぶり i=35mm 以上、最小配置間隔 c=40mm 以上）の範囲内にあり、継ぎ手は存在しなかった。

（３）調査結果の総括

配筋図から確認される範囲では、コンクリートを適切に打設することが可能な

計画であった。

しかし、実際の現場における鉄筋の配置間隔やコンクリートの充填・締固めの状況などは、確認できる資料が無く不明であった。

３．４．４ コンクリート床版の出来形

ＰＣケーブル定着部のコンクリート形状は、ＰＣケーブルの緊張によりコンクリートに発生する応力状態に影響するため、コンクリートの出来形について調査を行った。

（１）コンクリート床版の出来形図の調査結果

コンクリート床版の出来形図は事故後に施工業者が計測したものであり、コンクリートの破壊箇所については、直近の出来形形状から推定されている。この出来形図について調査を行ったところ、桁端部の上面全体にわたってコンクリート打設高の不足が認められた。

設計図では伸縮装置設置のため 20mm 厚の切欠きを設ける計画となっていたが、図 3-4-6 中の拡大図に示すように事故箇所の切欠き高は 148mm であった。このため上面の縁端距離は設計値 280mm に対し、142mm となり、準拠図書②に規定される最小縁端距離ｅ（=270mm＝1.5×180mm：突起側面を部材端として水平方向の最小縁端距離ｄを 180mm とした場合、鉛直方向の最小縁端距離はｅ＝1.5×ｄとなる。）より小さくなっていた。

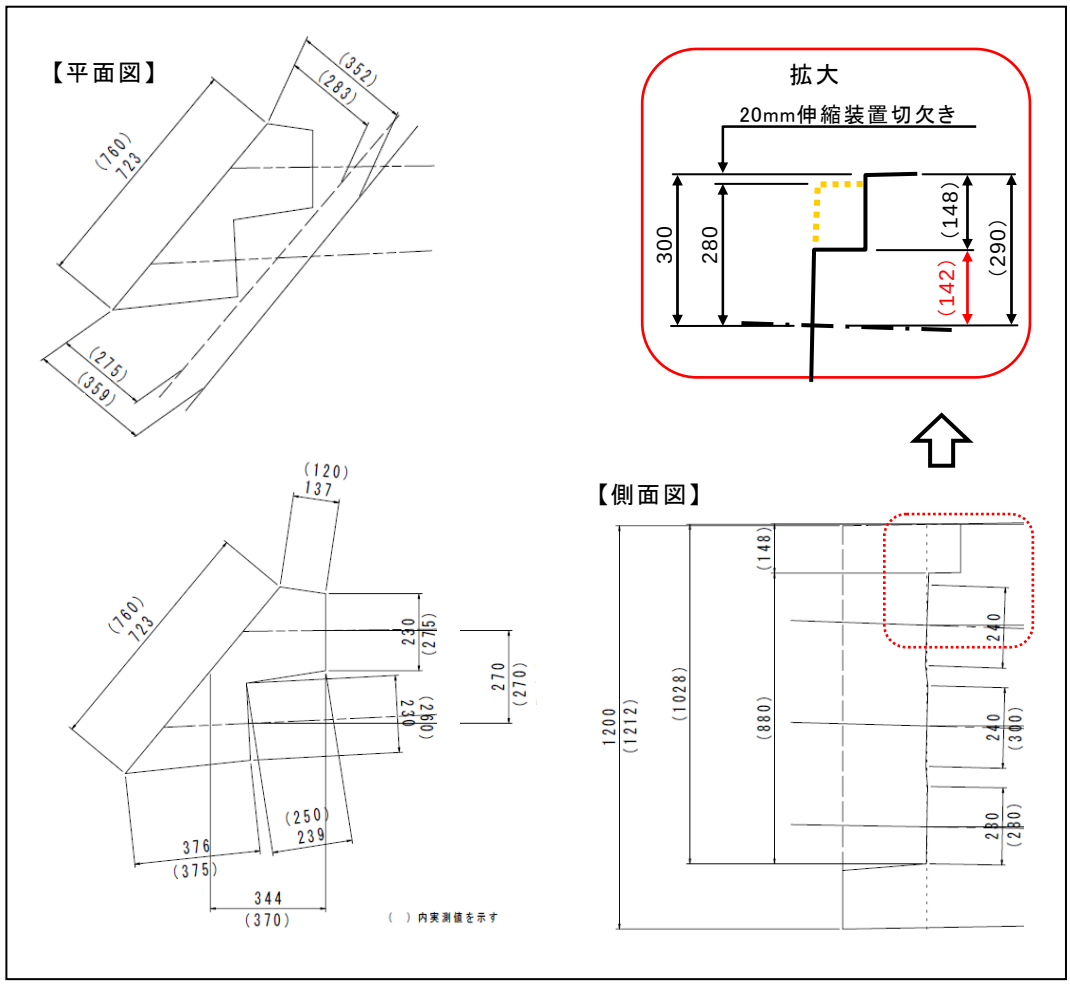


図 3-4-6 事故箇所の出来形図

３．４．５ コンクリート強度

プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度は、設計上σc＝29N/mm2 であり、緊張時にこの圧縮強度が得られているかについて調査を行った。

また打設されたコンクリートの品質を確認するため、緊張日以後のコンクリート強度の発現状況についても調査を行った。

（１）プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度の調査結果

緊張作業はコンクリート打設の 6 日後に行われたが、供試体(現場空中)の強度試験結果によると 3 日強度は 31～32N/mm2 であった。

（２）緊張日以後のコンクリート圧縮強度の調査結果

緊張作業を行った 7 月 6 日以後のコンクリート強度の発現状況は、次の 1）～3）とおりであった。

1）供試体の 7 日強度、28 日強度

供試体(標準)の強度試験結果によると 7 日強度は 37～39 N/mm2、28 日強度は 40～44 N/mm2 であり、供試体(現場空中)の強度試験結果によると 7 日強度は 34 N/mm2 であった。

2）コア採取による 28 日強度

コア採取は、県の指示に基づき、施工業者が 7 月 27 日にＡ１側桁端部のＢ１外で２本のコア採取をし、翌 28 日に圧縮強度試験が行われている。コアの強度試験結果によると 28 日強度は 38N/mm2、43N/mm2 であった。なお、1 本は 38 N/mm2 と比較的低い値となっているが、当該コアには図 3-4-7 に示すように段取鉄筋による一部欠損があった。

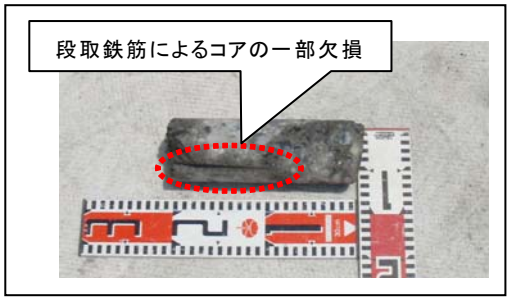


図 3-4-7 コアの一部欠損

3）シュミットハンマーによる推定強度

県の立会のもと施工業者が 8 月 31 日にＡ１側、Ａ２側の桁端部で、3 箇所ずつシュミットハンマーによる強度測定を実施している。この測定結果によると推定強度は 44～48 N/mm2 であった。

（３）調査結果の総括

コンクリートの強度試験結果等から確認された範囲では、設計上のプレストレス導入時のコンクリート圧縮強度 29N/mm2、設計基準強度 36 N/mm2 との不適合は認められなかった。

しかし、事故により破壊した箇所のコンクリート強度は不明であった。

３．４．６ 緊張作業

事故は緊張作業中に発生していることから、緊張作業の状況について調査を行った。

（１）緊張管理図の調査結果

緊張作業においては、施工業者の緊張管理技術者によりＰＣケーブル毎に緊張管理図が作成されている。事故が発生したＰＣケーブルの緊張管理図は図 3-4-10 のとおりであり、記載内容に不備が認められたものは次のとおりであった。

・緊張力 50Mpa の伸び量合計値

２．１（２）に示したとおり、事故は緊張管理技術者が緊張ポンプ圧力を 50Mpa から 55Mpa に上げる指示を行った直後に発生したとのことであるが、図 3-4-10 中の左表には、50Mpa におけるＰＣ鋼材の伸び量の合計値の記載がない。

・緊張力 50Mpa のプロット点

同様に、図 3-4-10 中のグラフには 50Mpa においてプロットした点がない。

図 3-4-8　緊張ポンプ

図 3-4-9　緊張作業状況

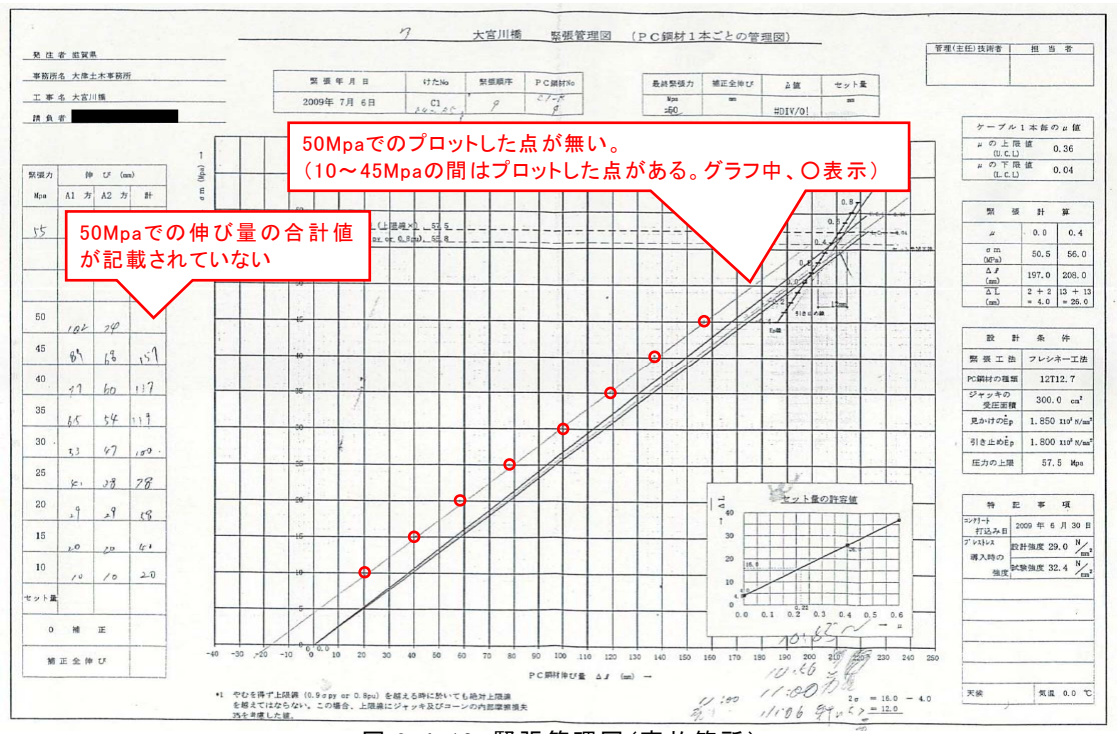


図 3-4-10　緊張管理図（事故箇所）