

一般財団法人 建設業技術者センター  
第8回『建設技術者のための技術力向上セミナー』  
2019/10/9（新潟）

# 建設現場でよくある失敗と その対策について ～コンクリート工事～

東亜建設工業(株)  
羽渕貴士

# ConCom

Constructor's Community

～建設技術者のためのコミュニケーションサイト～

知って得する、読んでためになる。

建設技術者のためのコミュニティサイト『コンコム』

<http://concom.jp/>

(建設業技術者センターが開設)

## ➤ コンテンツ一覧

- ・特別レポート
- ・技術力向上セミナー
- ・現場探訪
- ・土木遺産を訪ねて
- ・コスト・積算
- ・現場監理の達人
- ・現場の失敗と対策
- ・トピックス
- ・動画で学ぶ建設業
- ・講習情報
- ・防災を考える
- ・現場のマネジメント学

# 現場の失敗と対策

➤ このコンテンツは現場で働く皆さんの参考のため、実際の施工でよくある失敗事例と対策を記録したもの

- ✓ 土工事 …… 35事例
- ✓ 基礎工事 …… 34事例
- ✓ コンクリート工事 …… **46事例** (2013/1～2019/9)

(注) 記事は掲載時期の技術や基準を参考に書かれていることに留意してください。

➤ 「コンクリート工事」の事例の内訳

- 1) 打設中(コンクリートの特性とクラック) …… 9事例
- 2) 打設中(締固め) …… 17事例
- 3) 打設後(養生) …… 6事例
- 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等) …… 14事例

➤ 本日は、コンクリート工事の事例から代表的なものを紹介

# 1) 打設中(コンクリートの特性とクラック)

- コンクリートスラブ表面に格子状のひび割れ(2013/6/20)
- はみだして盛った部分にクラック(2013/6/20)
- 地上から立坑内にポンプ圧送した時の配管の閉塞(2014/6/26)
- 目地を跨ぐ金物によるクラックに注意(2015/6/29)
- 型枠支保工の変形・沈下によるコンクリートのひび割れ発生事例(2017/3/31)
- コンクリートのコテ仕上げ面に発生した亀甲状の微細ひび割れ(2017/12/25)
- 高流動コンクリートのポンプ圧送時に輸送管が破裂(2018/3/29)
- プレキャストコンクリート製アーチカルバートに発生したひび割れ(2018/12/25)
- カルバートボックスの温度ひび割れ対策の比較事例(2019/9/26)

## 2) 打設中(締固め) 1/2

- 高架橋の柱下部での豆板発生(2013/1/21)
- コンクリート打設計画の不備による豆板の発生(2013/4/22)
- コンクリートに押されて鉄筋が移動(2013/9/20)
- 梁の底部に豆板が発生(2013/9/20)
- コールドジョイントを無くす打設方法(2014/9/29)
- 止水板の下に空気だまり(2014/9/29)
- 洗浄水の凍結により発生した打継目の空洞(2014/12/25)
- 雪は融けない(2014/12/25)
- 箱桁橋のハンチ部での充填不良(2015/3/30)
- 法面被覆コンクリートの表面気泡が消える(2015/12/24)

## 2) 打設中(締固め) 2/2

- 色むらのある汚いコンクリート(2016/3/30)
- 開削トンネル(ボックスカルバート)の中壁での充填不良(豆板)  
(2017/6/29)
- コンクリート構造物に発生した層状の色むら(2017/9/28)
- 砂すじは無くせる(2017/9/28)
- 栈橋上部工に生じたコールドジョイント(2018/3/29)
- バイブレータのかけ忘れで豆板が発生(2018/6/28)
- トンネル覆工コンクリートの色むらを解消(2019/3/28)

### 3) 打設後(養生)

- 温度ひび割れと保温養生 (2013/12/20)
- 風による収縮ひび割れ (2013/12/20)
- 埋込み鋼材が誘発したひび割れ  
—RC巻立て工法による耐震補強工事でのトラブル— (2015/6/29)
- 丁寧な施工でも床版にひび割れ、鉄筋量の不足か (2016/6/28)
- セパ穴からの漏水 (2016/6/29)
- 片持ちばり式擁壁の隅角部に斜めひび割れが発生 (2016/12/26)

## 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等) 1/2

- コンクリート構造物のせん断補強筋の組み立て(2013/3/21)
- 柱の打ち継ぎにおがくずの跡(2014/3/26)
- 差し筋の間違い(2014/3/26)
- 適用する仕様書の違いに気がつかなかったことによるトラブル(2014/6/26)
- 浮き型枠でのコンクリート打込み失敗(2015/3/30)
- 橋梁の断面修復工事で品質トラブル  
—はつり作業で母材に微少なひび割れ発生—(2015/9/29)
- 鉄道橋の柱でかぶり不足が発生(2015/12/24)
- あと1m<sup>3</sup>で支持地盤が陥没(2017/3/31)
- 地中梁に生じた鉄筋のかぶり不足(2017/12/25)



## 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等) 2/2

- あと1m<sup>3</sup>で支保工の沈下(2018/9/27)
- RC橋梁の主桁コンクリートのはらみ(2018/9/27)
- 栈橋上部工の梁の増厚補強(逆打ち施工)における充填不良(2019/3/29)
- ポンプ配管の振動による鉄筋の乱れ(2019/6/27)
- スラブコンクリートの打込みと夕立(2019/9/26)

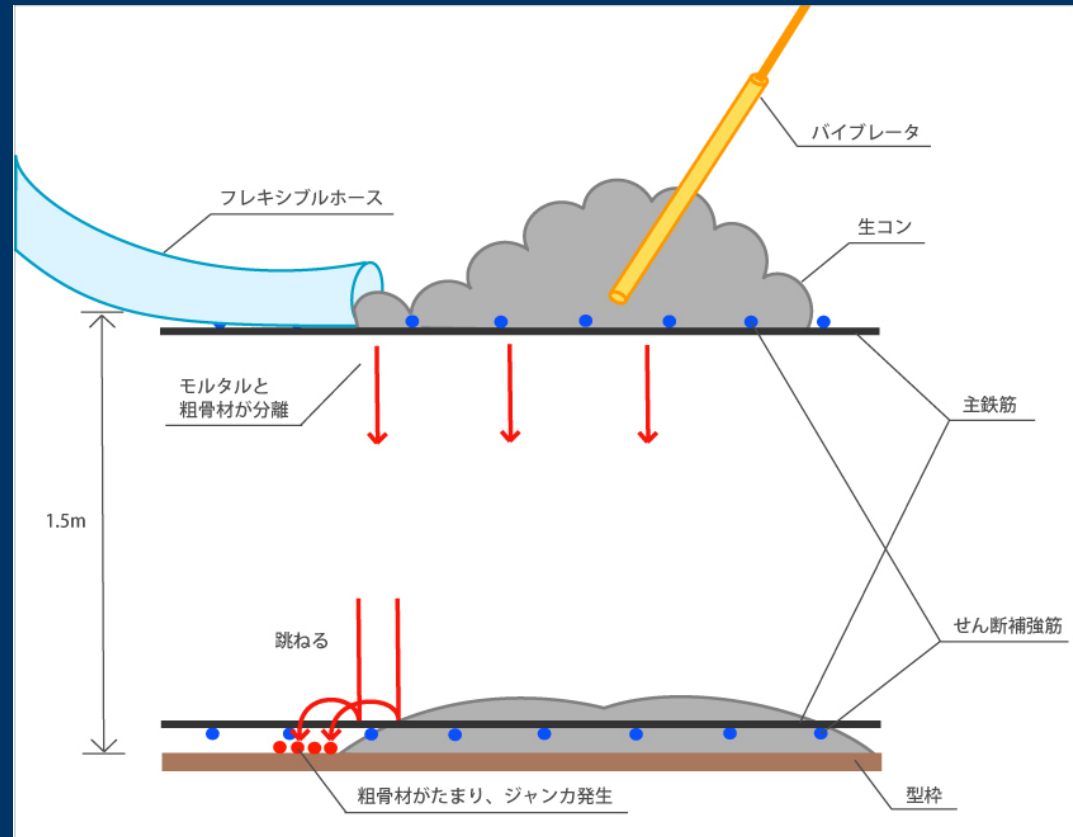
## 2) 打設中(締固め)

# 梁の底部に豆板が発生

### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

高さ1.5mの梁のコンクリート打設に当たり、上側の鉄筋が密でポンプ車のホースが梁の鉄筋のなかに入らなかった。このため、コンクリートを上筋の上にもこもこと盛り上げ、バイブレータで型枠内にコンクリートを落とし、打設していた。

流し込んだコンクリートは十分、締め固めたつもりだったが、型枠を外すと、梁の隅角に豆板ができていた。



## ➤ 原因と対処方法

豆板の原因はバイブレータの締固め不良が多いが、今回のケースは締固め以前に、粗骨材とモルタル分の材料分離が起きていて粗骨材が噛み合った箇所にモルタルが行き渡らなかったためと考えられる。

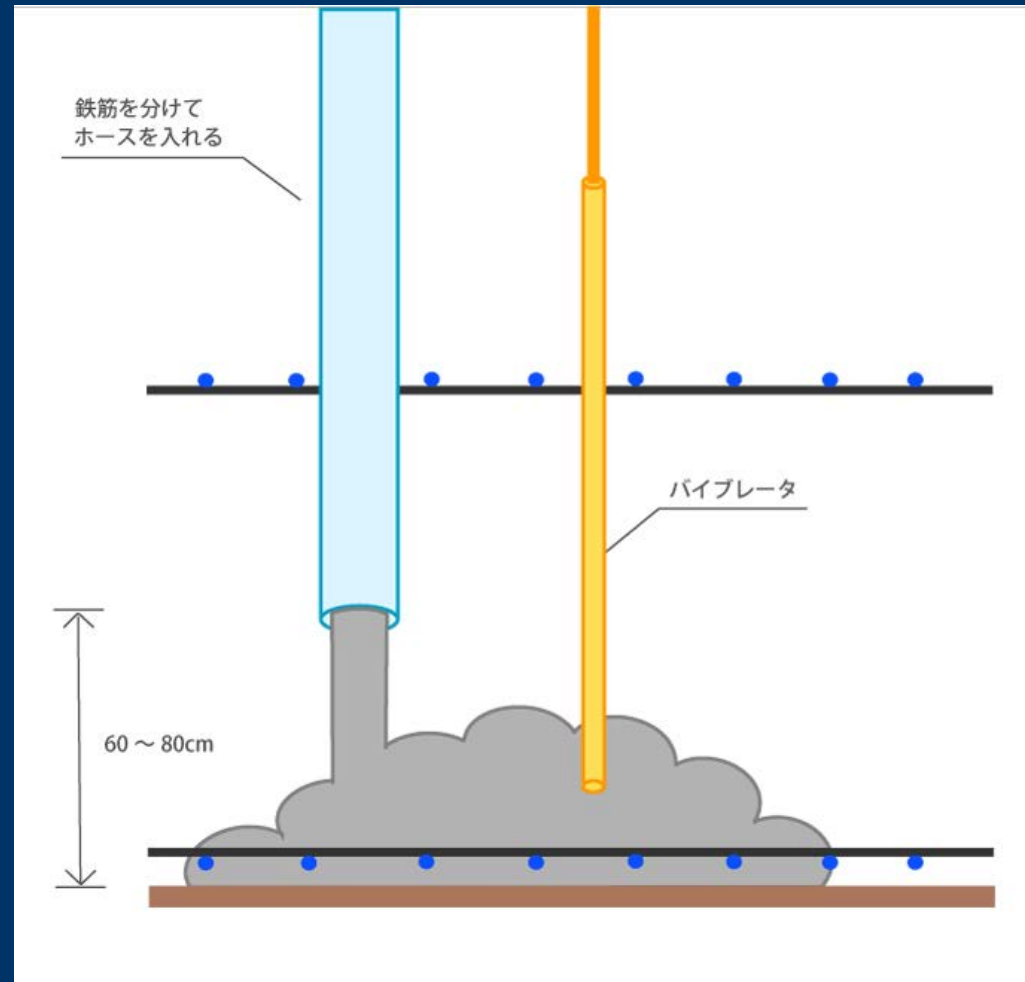
コンクリート標準示方書には「ポンプ配管等の吐出口と打込み面までの高さは1.5m以下を標準とする」と書いてある。事例では打込み高さ1.5mは保っていたが、鉄筋間隔が狭いためコンクリートはスレートに落下せず、盛り上がったコンクリートにバイブレータがかかると、鉄筋に邪魔されないモルタル分が落下し、次に粗骨材が落下するという状況で、さらに落下した粗骨材は下筋に当たり跳ね返りするなどして、材料分離が発生、豆板となったと考えられた。

豆板はモルタルによる左官仕上げで補修した。

## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備

コンクリート工事の中で最も多い失敗は豆板の発生であり、CONCOMの連載でも事例が掲載されている。今回の事例も豆板である。建物の梁に発生した豆板はいつまでも補修の痕が残り、美観上も良いものではない。

今回のケースでは、上側の鉄筋の結束を外してポンプ車のフレキシブルホースを梁の中まで入れてコンクリートを流し込めば、このような事態にはならなかった。



積算上、コンクリートの打設には鉄筋工は計上されていない。ところが部位によっては、コンクリート打設に鉄筋工が必要になる場合がある。

最初から最後まで、鉄筋工が張り付いている必要は無いが、本事例のようにホースを挿入するために組み立てた鉄筋をばらして、再度、組み直す必要がある場合や、スラブのコンクリートなど、ポンプ車配管の振動や作業員の歩行により、鉄筋の結束が緩むことが想定される場合には、再度結束するため、コンクリートの打設に鉄筋工を配置すると良い。

以上

## 2) 打設中(締固め)

# 洗浄水の凍結により発生した打継目の空洞

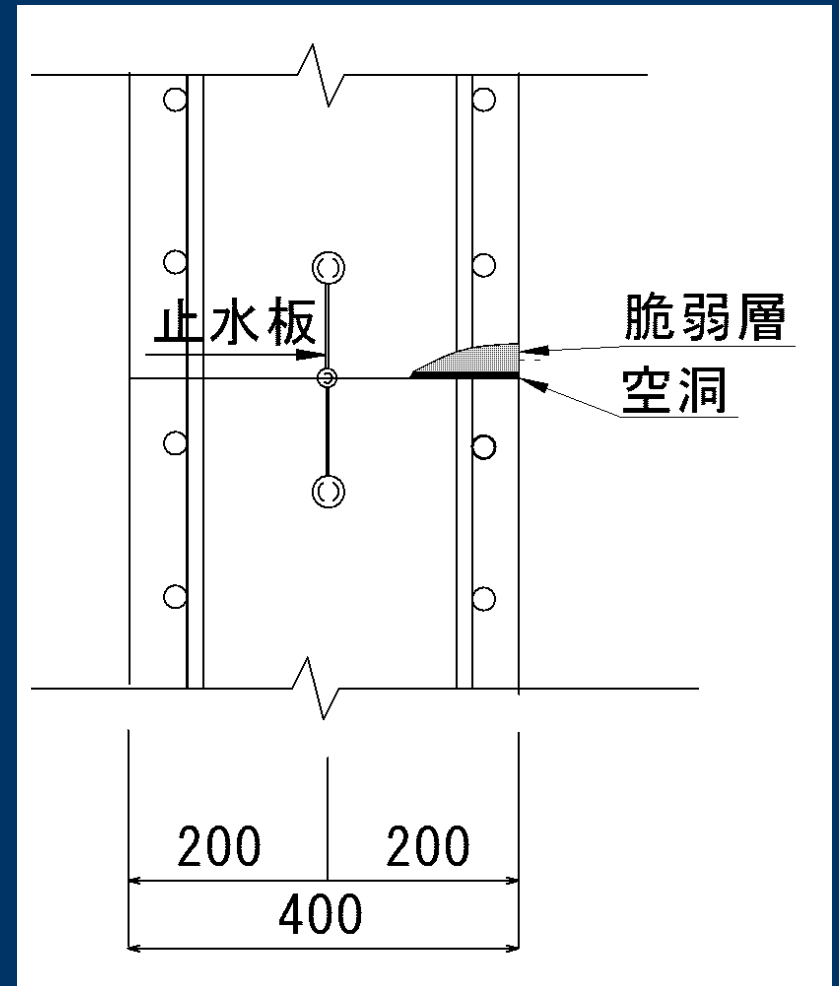
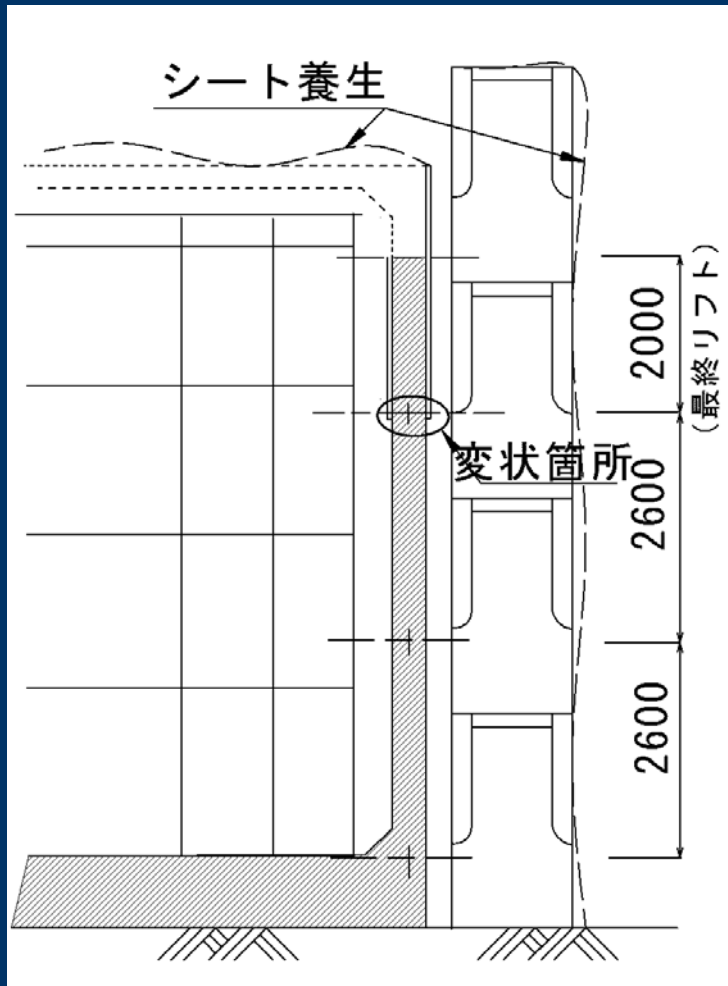
### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

1月中旬、寒冷地で建設が進められていた、半地下式水処理施設において発生したトラブルである。側壁コンクリートの最終リフトの打込みを終え、5日間の養生を経て型枠を解体した時、躯体外側の打継目10数mに亘って、幅約1cmのスリット状の空洞とその上部4~5cmの幅の黒っぽい変色層が発見された。打音検査で濁音があったため、奥行き方向にはつり調査したところ、鉄筋を超える深さにまで空洞と脆弱層が認められた。



当時、建設地点の外気温は、最高温度が0°C前後、最低気温は-10°Cを下回っていたことが確認されている。また、コンクリート打込み当日は、型枠内部の簡単な目視点検を行っただけで打継ぎ面の状態は十分把握されていなかった。

なお、不具合箇所以外についても凍害による強度不足が懸念されたため、シュミットハンマーならびに小口径コアにより強度を確認したが、特に異常は認められなかった。



## ➤ 原因と対処方法

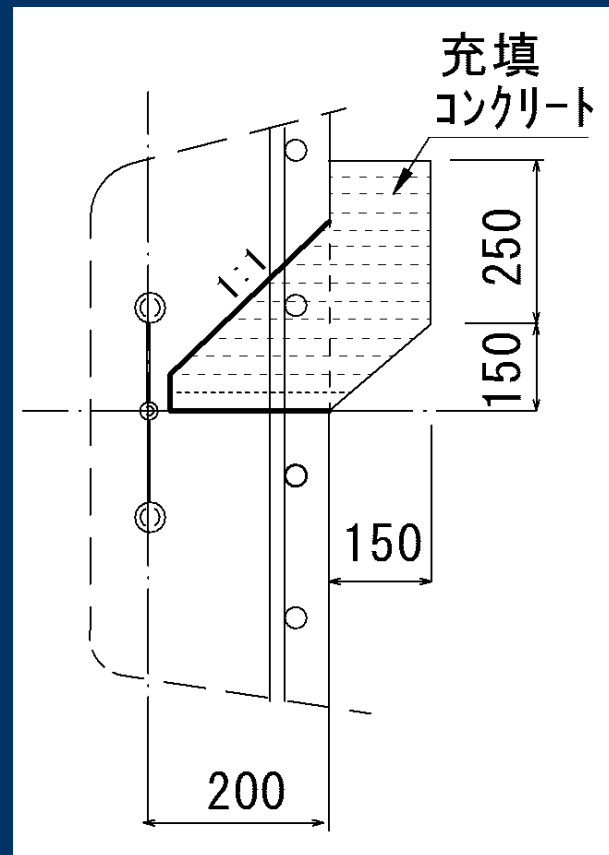
トラブル発生に影響すると思われる事項を抽出すると、以下のようである。

- ✓ コンクリートの設計基準強度は $21\text{N/mm}^2$ 、セメントは普通ポルトランドセメント、配合強度は温度補正等により $30\text{N/mm}^2$ 、スランプは12cm、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ であった。
- ✓ 打込み時のコンクリートの練上り温度は、 $5^\circ\text{C}$ 程度であった。
- ✓ 下層のコンクリートは2週間前に打ち込まれ、せき板には化粧合板が用いられた。コンクリート打込みの前日には型枠内を温水ウォッシャーにより清掃し、躯体内側をジェットヒータ、外側をアイランプにより給熱養生した。また、内側支保工上面および外側足場にシート養生が施されていた。
- ✓ 打込み完了時から型枠解体時までの5日間は、ジェットヒータとアイランプによる給熱養生を行なわれた。



これらのことから、変状発生の原因は躯体外側の給熱養生が不十分だったことによると判断した。すなわち、打継目に残った凍結した洗浄水の上にコンクリートを打ち込んだため、凍結水の融解に伴い空洞が発生し、さらに上部コンクリートの硬化不良を引き起こしたものと結論付けた。

対策は、図に示すとおり、不具合箇所をウォータージェットにより台形状にはつき取り、プライマーを塗布したのち母材と同等のコンクリートにて充填する方法とした。



## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備

日平均気温が4℃以下となる場合には、凍害を防止するために寒中コンクリートとしての施工を行なう必要がある。特に、打込み時のコンクリート温度、養生温度および養生終了時のコンクリート強度の管理が重要である。各項目の具体的な管理値は、土木学会コンクリート標準示方書【施工編】に示されているので参照されたい。

本トラブルの直接的な原因は打継目に溜まった洗浄水の凍結を見逃したことによるが、寒中コンクリートとしてのよりきめ細かな対応がなされていれば、未然に防ぐことができたといえる。

以下に、本事例にて得られた冬季における打継処理の留意点を示した。

- ✓ 打継ぎ面の洗淨を行った場合には、必ず高圧空気で残留水の除去を行う。
- ✓ 寒冷地でコンクリートを打ち継ぐ場合には、すでに打ち込まれたコンクリートの表面が氷点下となり、未水和の水分が凍結して打継ぎ部の品質低下を招く恐れがある。このため、打継ぎ面を断熱シートで覆うか、コンクリート打込み前日より給熱養生を行い打継ぎ部の温度低下を防ぐなどの対策が必要である。
- ✓ コンクリートの養生温度管理では、対象部材全体にわたって所定の養生温度を確保することが大切である。特に、本事例のような施設では、躯体内・外面で養生温度に差が出やすいため、給熱用設備の種類、配置方法をよく検討する必要がある。また、外側の型枠に断熱性のシートを巻くなどの処置も効果があるので併用するとよい。

以上

#### 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等)

## 地中梁に生じた鉄筋のかぶり不足

### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

本事例は、建物基礎の地中梁の施工において、鉄筋のかぶり不足が発生したものである。地中梁のコンクリートを打込み、養生が終了した後に出来形を確認したところ、写真に示す様な不具合が発見された。この写真では見づらいが、この梁の軸方向(写真では奥行き方向)に配置された上端筋に湾曲が生じ、その結果、この梁の鉄筋全体が直交する梁側(写真の左方向)に動き、この梁と直交する梁との交差部付近においては、鉄筋のかぶり不足が生じたものである。

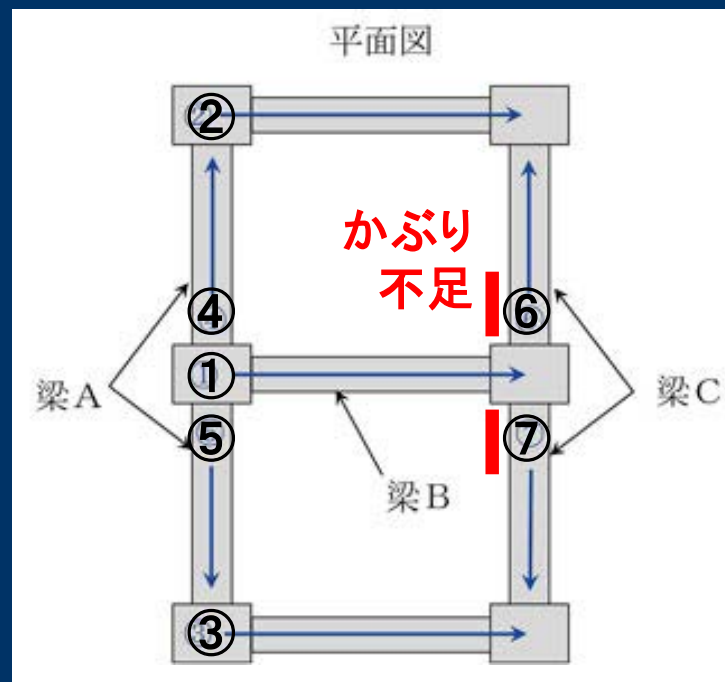


## ➤ 原因と対処方法

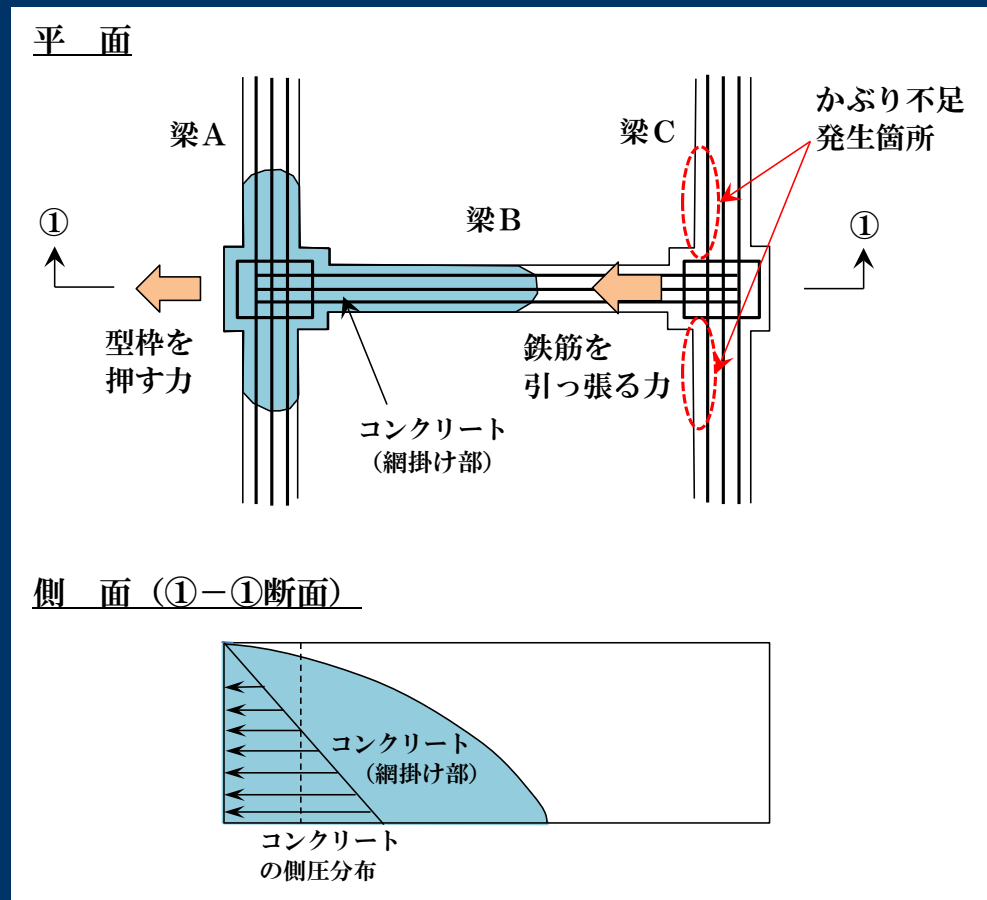
この地中梁のコンクリートの打込みは、図に示す① → ⑦の順序で行っており、梁Aと梁Bとの交差部から開始している。そして、約1.5mの梁高に対して、一気に天端まで打ち上げている。なお、パイプサポートなどによる型枠の支持・固定は行っていなかった。

また、使用したスペーサはモルタル製であり、写真に示す様に鉄筋にクリップ式で固定するロケットタイプと呼ばれ、型枠に接する先端が細くなっているものであった。打込み前の検査では、スペーサは1m<sup>2</sup>当たり2個以上使用するという規定が守られていることは確認されていた。

そのため、以下のような現象が生じたものと推察できる。



- ① 側面図に示すように、梁Aの型枠には偏ったコンクリートの側圧が作用した。
- ② 梁Aの型枠が、支保工が無かったため外側に変形した。
- ③ 同時に、セパレータやスペーサを介して梁Aの鉄筋も一緒に移動した。
- ④ それに伴って梁Bの鉄筋も同じ方向に移動した。
- ⑤ 同様に、梁Cの鉄筋が梁Bの鉄筋により引っ張られた。
- ⑥ このとき、梁Cでは鉄筋のかぶりを確保するためのスペーサの数および取付け方法が不十分だったため、スペーサの移動や脱落が生じて鉄筋が型枠側(写真の左側)に湾曲して、かぶり不足箇所が生じた。



上記のように、コンクリートの打込みによって梁の鉄筋が移動して、かぶり不足が生じた原因としては、鉄筋とスペーサが堅固かつ正確に組み立てられていなかったためにスペーサが動くなどして鉄筋と型枠の固定が不十分となったこと、支保工による型枠の支持が無かったこと、コンクリートを局所的に一気に打ち上げ過ぎたために型枠に過度の偏った側圧が作用したこと、などが挙げられる。

補修にあたり、かぶりが不足した梁側面部では、構造計算上は支障がないと考えられたが、かぶり不足による鉄筋腐食等の劣化を防止することも考え合せて、炭素繊維シート接着による補強を行った。

## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備、施工時の留意事項

本例のような不具合を生じさせないためには以下のような処置が必要である。

### ① 事前検討・準備の段階では、

- ✓ 鉄筋の正確な組立および脱落・移動を起こしにくいスペーサの選定と堅固な取付けを行う。
- ✓ 支保工の堅固な組立(十分な数量の設置、移動防止)を行う。
- ✓ コンクリート側圧の著しい偏りを防止するため、一層当りの高さを40～50cmに抑えた打込み手順書を作成する。

### ② 施工時には、

- ✓ 打込み手順の状況と、打込み時の高さの確認を行う。
- ✓ 打ち込んだコンクリートの付近の鉄筋が引っ張られていないか確認する。
- ✓ 型枠のはらみだし等が起きていないか点検する。

以上



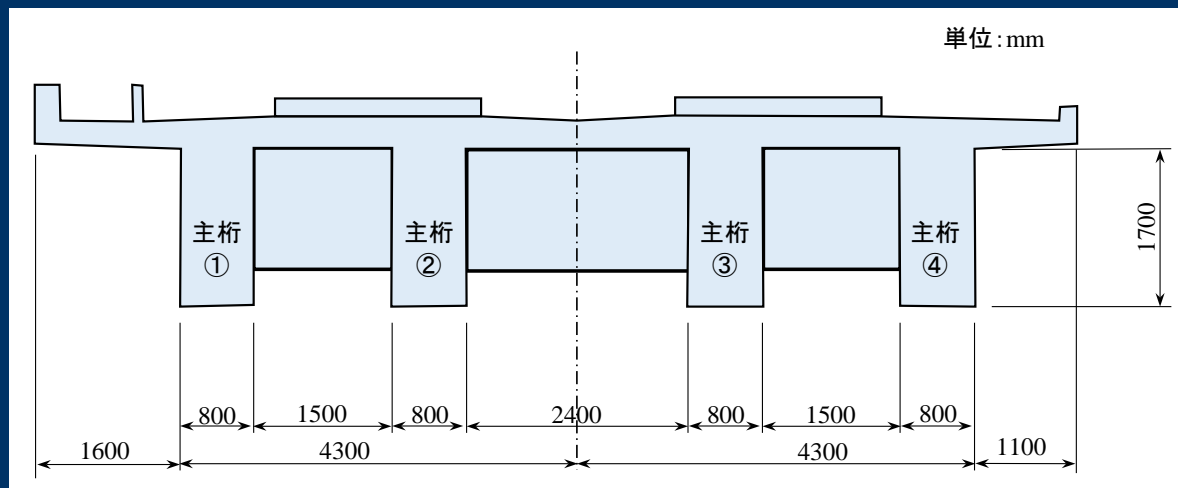
#### 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等)

## RC橋梁の主桁コンクリートのはらみ

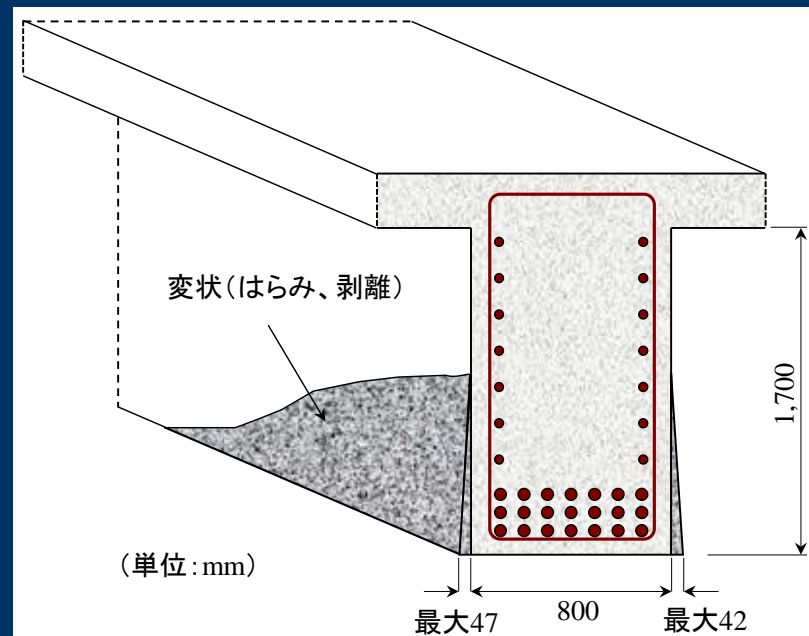
### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

この橋梁は、RC単純T形4主桁の上部構造からなる橋長が20mの鉄道橋梁である。

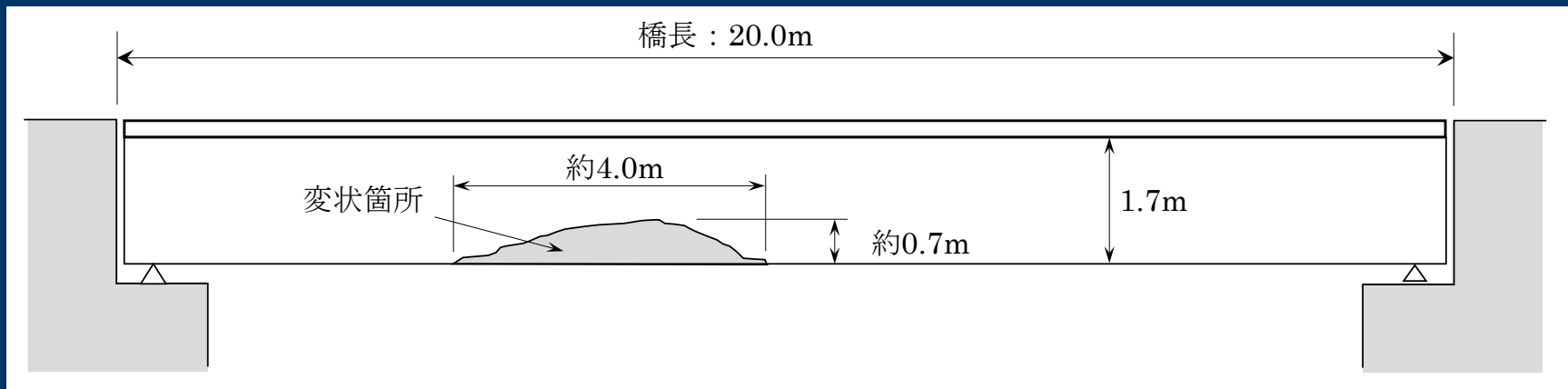
上部工コンクリートの施工後、端部の主桁①において、型枠の一部にはらみが見られたので、脱型後に確認したところ、写真に示す変状が確認された。



この変状が生じた位置は主桁のスパン中央に近い部分であり、主桁側面下端部に長さ約4.0m、高さ約0.7mの範囲に渡ってはらみや表層コンクリートの剥離が生じていた。はらみの生じた桁幅の状況を図に示すが、主桁下面の左右におけるはらみの最大値はそれぞれ47mmと42mmであった。



変状が生じた部分においては、表層部コンクリートが型枠のはらみに伴い、下方に流下した様子が伺える。コンクリートが流下しなかった部分では型枠と接していたことから表面に光沢が残っている。



はらみなどの変状が生じた箇所近傍についてテストハンマーによる調査を行ったところ、変状の無い健全な箇所と同程度の強度が得られた。鉄筋探査計により鉄筋位置(かぶり)を測定したが、鉄筋自体の移動は見られず、コンクリートだけがはらみ出したものと判断された。

また、はらみなどが生じた変状箇所と健全箇所について、超音波を用いた非破壊調査を行ったが両者で得られた超音波伝播速度に差異はなく、主桁内部に空洞や浮きなどの欠陥はないものと判断した。

なお、施工時の条件は以下の通りであった。

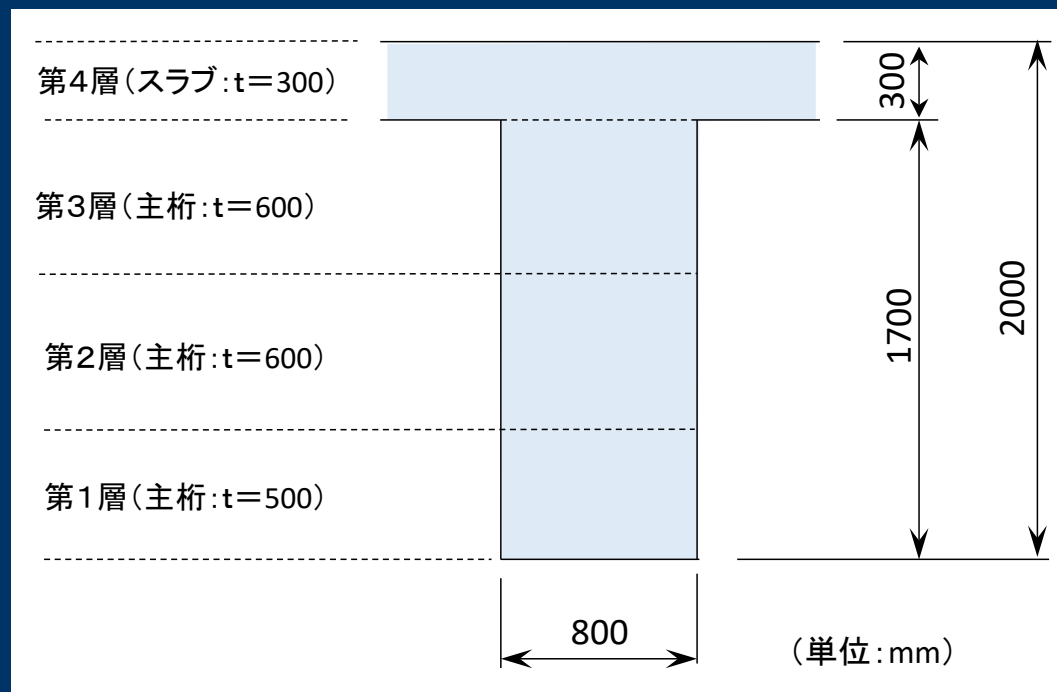
- ✓ 天候: 晴れ
- ✓ 外気温: 9°C (2月)、コンクリート温度: 10°C
- ✓ 打ち上がり速度: 0.45 (m/h)
- ✓ コンクリート: 設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>、普通セメント (W/C=55%)、スランプ 12cm

主桁～スラブのコンクリート(h=2,000mm)は図に示すように4層に分けて打ち込んでおり、打込み順序としては主桁①→主桁②→主桁③→主桁④→主桁①・・・のように、いわゆる回し打ちによりコンクリートを打ち上げている。

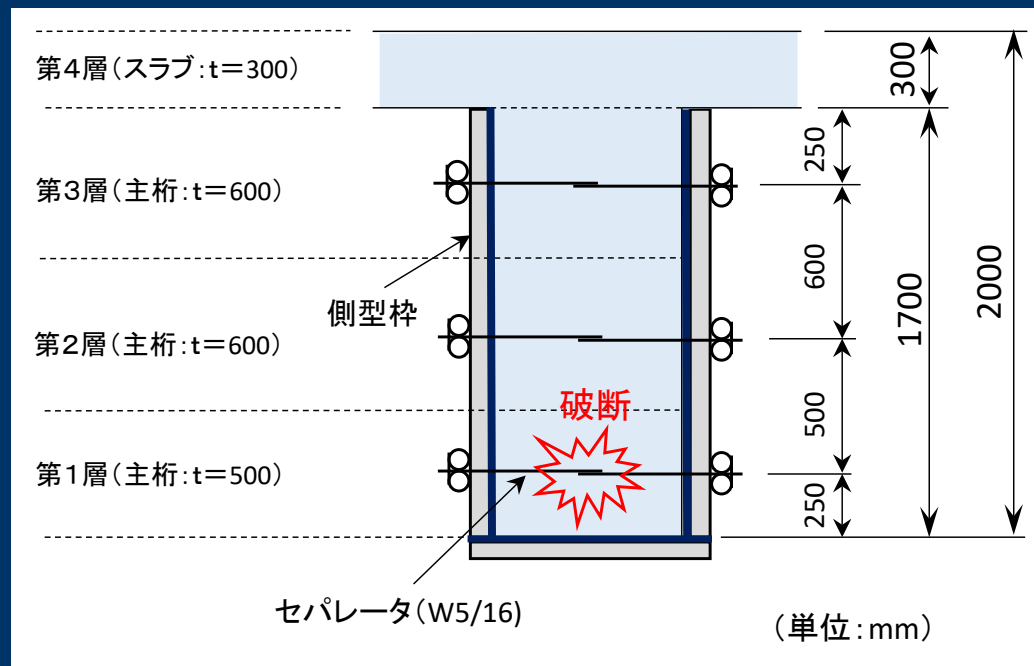
### ➤ 原因と対処方法

前述したように各種の調査により、はらみが生じた箇所であっても内部コンクリートに充填不良などの欠陥は無いものと判断された。

このことから、コンクリートの打込み中に型枠のはらみが生じたものと推察された。そして、型枠セパレータ両端のPコンとセパレータ端部は型枠表面に付いたままであったことから、最下段のセパレータがコンクリートの側圧に耐えられず破断したものと思われた。



型枠工へのヒアリングを行ったところ、2本のセパレータを桁の中央部においてフレア溶接で繋いでいたとのことであった。最下段のセパレータには大きな側圧が作用するため、溶接部がその側圧による引張力に耐えられなかったものと思われる。溶接部の引張耐力が不足した原因としては、溶接長の不足や溶接不良などが考えられた。



内部コンクリートに欠陥は無いものと判断されたため、はらんだコンクリート部分をはつき取り、その箇所を断面修復してから表面被覆工を行うこととした。はらんだ部分のコンクリートをやや深めに(スターラップの背面10~20mm程度を目安に)はつき取り、その箇所は無収縮モルタルを用いて断面修復し、さらにその上に長期的な剥落防止を考慮してビニロンメッシュによる剥落防止工を施した。

## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備、施工時の留意事項

今回の事例では、セパレータをフレア溶接で繋いだ理由は不明であるが、その溶接部において破断したことがコンクリートのはらみ出しの原因と考えられた。標準的なサイズのセパレータは計画より多めに準備しておき、現場においてセパレータを溶接で繋ぐことは極力避けることが望ましい。

やむを得ずセパレータをフレア溶接で繋ぐ場合は、片側溶接では10D以上（両側では5D以上）の溶接長を確保することが必要である。もちろん熟練した技能者が実施することが必要である。

また、本事例での打ち上がり速度は0.45m/hであり、一般的な速度より緩やかであったが（標準示方書では一般に1.0～1.5m/30分）、断面が比較的薄い桁や壁のような部材では、打ち上がり速度が大きくなりやすい（急激に大きな側圧が作用）ので注意が必要である。

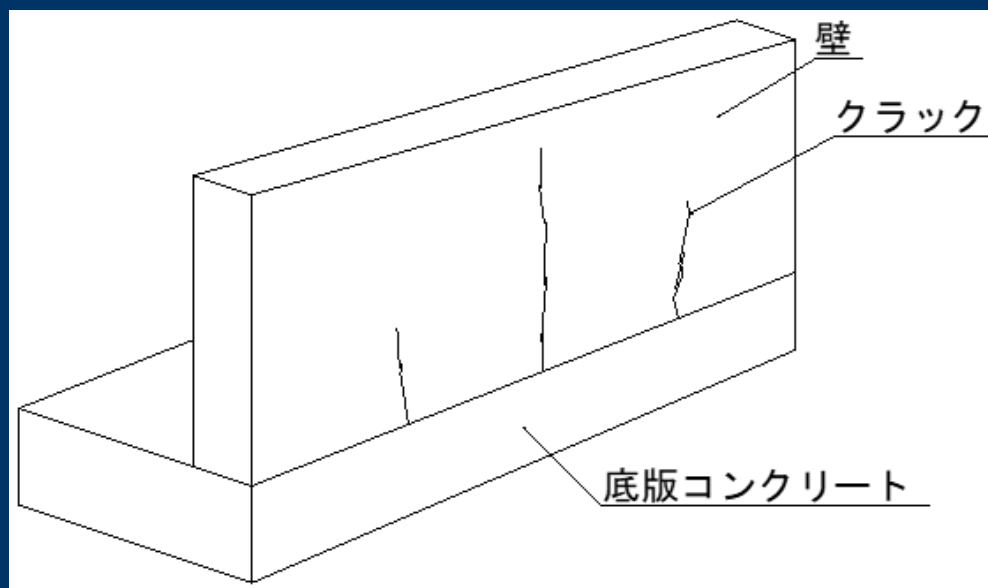
さらに、コンクリートの打込み前にはセパレータをはじめ型枠や支保工に緩みが無いか、打込み中には型枠や支保工の変形や異常音が無いかなどに十分な注意を払うことが必要である。 以上 <sup>30</sup>

### 3) 打設後(養生)

## 温度ひび割れと保温養生

#### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

1月に東京の近郊の浄水場で、配水池の壁のコンクリートを打設した。今回の工事で最初の壁のコンクリートである。打設時期と壁の厚さが0.9mと厚いことから、高性能減水剤の使用により単位セメント量をできるだけ小さくするとともに、中庸熱コンクリートを採用した。15時に打設が完了後、壁全体をブルーシートで覆い、壁の中間部に練炭をぶらさげ、頂部には投光器を設置した。ただし、練炭および投光器による保温養生は一晩だけとした。



5日後、朝の気温が0°Cの寒い日だったが、ブルーシートをはずし、次に型枠材をはずした。その日は気がつかなかったが、翌朝コンクリートの壁には、鉛直方向に4m程度おきに規則正しく0.4mm前後のクラックが発生していた。

## ➤ 原因と対処方法

クラックの発生した原因として温度ひび割れが考えられたが、そのメカニズムには2つの可能性があった。一つは、冬場のコンクリートの養生の問題、二つ目はマスコンクリートとしての構造上の問題である。

### 1) 養生の問題

壁のコンクリートの内部には水和熱によって上昇した温度が蓄えられている。ところが脱型により、コンクリート表面は急に冷たい外気にさらされ、熱がうばわれる。このため、コンクリートの表面と中心部でかなり大きな温度差が生じ、クラックが発生したと考えられた。



## 2) マスコンクリートと外部拘束

もう一つはマスコンクリートとしての問題である。壁はセメントの水和熱によるコンクリート温度の上昇が体積変化(膨張、収縮)を引き起こすが、下端はすでに固化している底版コンクリートに拘束されているため、壁コンクリートの内部に応力が生じる。この内部応力が部材の引張強度を超えることで、クラックが入ったというものである。

## 3) 対処方法

水を貯める構造物なので、漏水を起こさないように、クラックの補修を行った。クラックの形状は鉛直に近いといってもやや斜めに、一部枝分かれしている。決して、美観上優れたものではないが、クラックに沿ってVカットし、レジンモルタルでコーキングした。

2回目以降に打設する壁コンクリートに対しては、新たに次の対策を実行することにした。

養生を原因とするクラック対策として、脱型を1日伸ばし6日目とした。外気温とコンクリートの温度差を少なくするために養生期間を長く延ばしたのである。さらに、型枠をはずした後、再度シートで覆うようにした。急激な温度変化を与えないためと脱型後も保温に努めるためである。

マスコンクリートを原因とする対策として、クラック発生位置を分散させ、それぞれのクラックを許容できる幅に狭めることを意図して@250mmで配置されたD25の壁鉄筋の間にD19を配筋した。

これらの対策を施した結果、次回以降の壁コンクリートにはクラックは発生しなかった。

## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備

今回のクラックは、発生状況からすると外部拘束による要因のほ  
うが大きいようである。マスコンクリートの施工にあたっては「温度ひ  
び割れ」現象が起こりやすく、1. で述べたようなコンクリートの配合  
そのものに対する配慮が必要である。

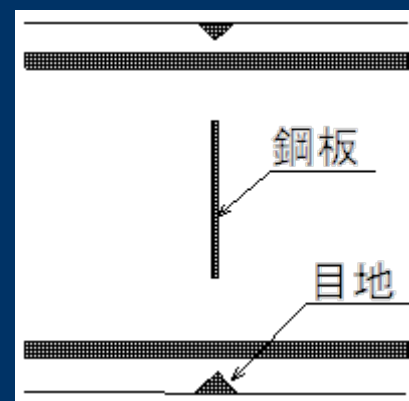
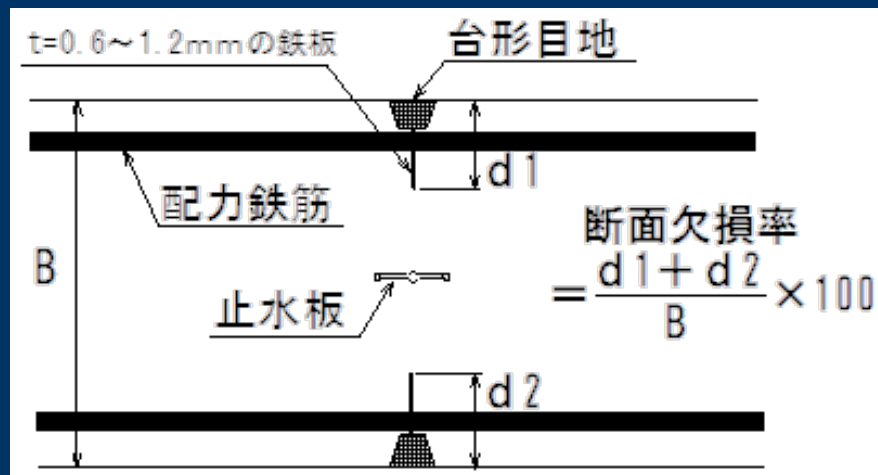
特に、寒中のマスコンクリートは事前の温度解析を参考にしながら、  
コンクリート部材内外の温度差が大きくなならないよう養生温度、養生  
期間を計画することが大切である。2. で示した対策や熱伝導率の  
低い木製型枠の使用、保温性の高いシートの採用などの対策を準  
備すべきである。

施工に当たっては、一度は温度測定を行うことを奨める。熱電対  
により壁中心部および表面付近のコンクリート温度、シート内の雰  
囲気温度を計測し、コンクリート温度をできるだけ緩やかに外気温  
に近づけるよう養生期間等を決定する。

「温度ひび割れ」の対策として、クラック誘発目地を設置することも有効である。わざとクラックを発生させ、そこだけを補修すれば良いようにして、補修の効率と見栄えを確保しようというものである。

なお、2012年制定のコンクリート示方書によると「断面欠損率は50%程度以上とすることで確実に誘発することができる場合が多い。」と書かれている。コンクリート表面に入れた切れ込み目地だけでは効果がなく、型枠の両面に付けた目地を結ぶ位置に鋼板や塩ビ製の板などを設置することでクラックを誘発する。

また、クラック誘発目地部分の補修としては、構造物の用途によってクラック部分にエポキシ樹脂を注入し弾性シーリング材でコーキングするなどが考えられる。



以上

## 1) 打設中(コンクリートの特性とクラック)

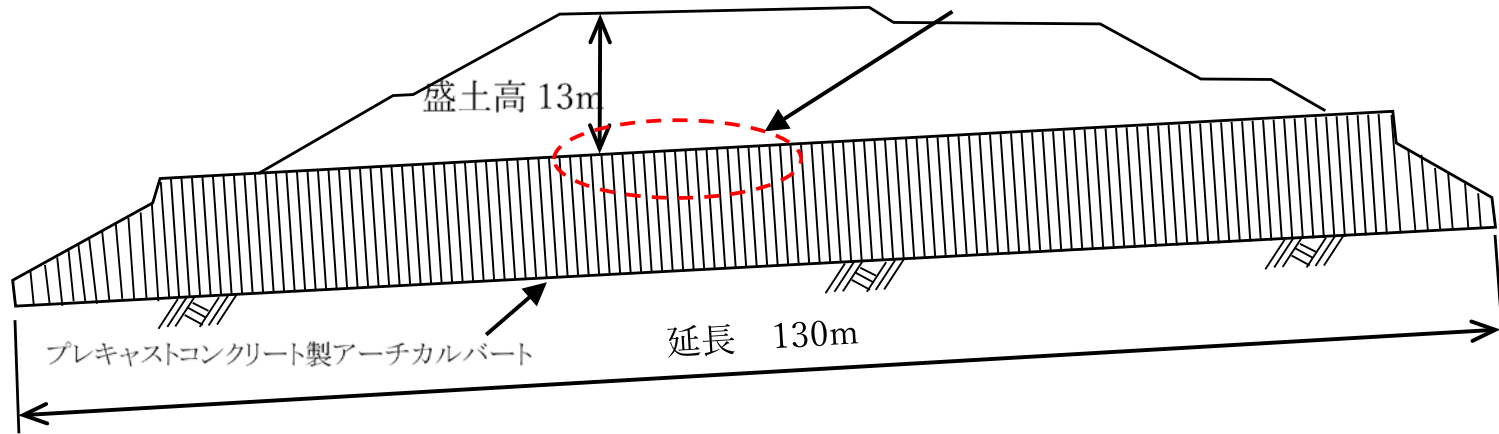
# プレキャストコンクリート製アーチカルバート に発生したひび割れ

### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

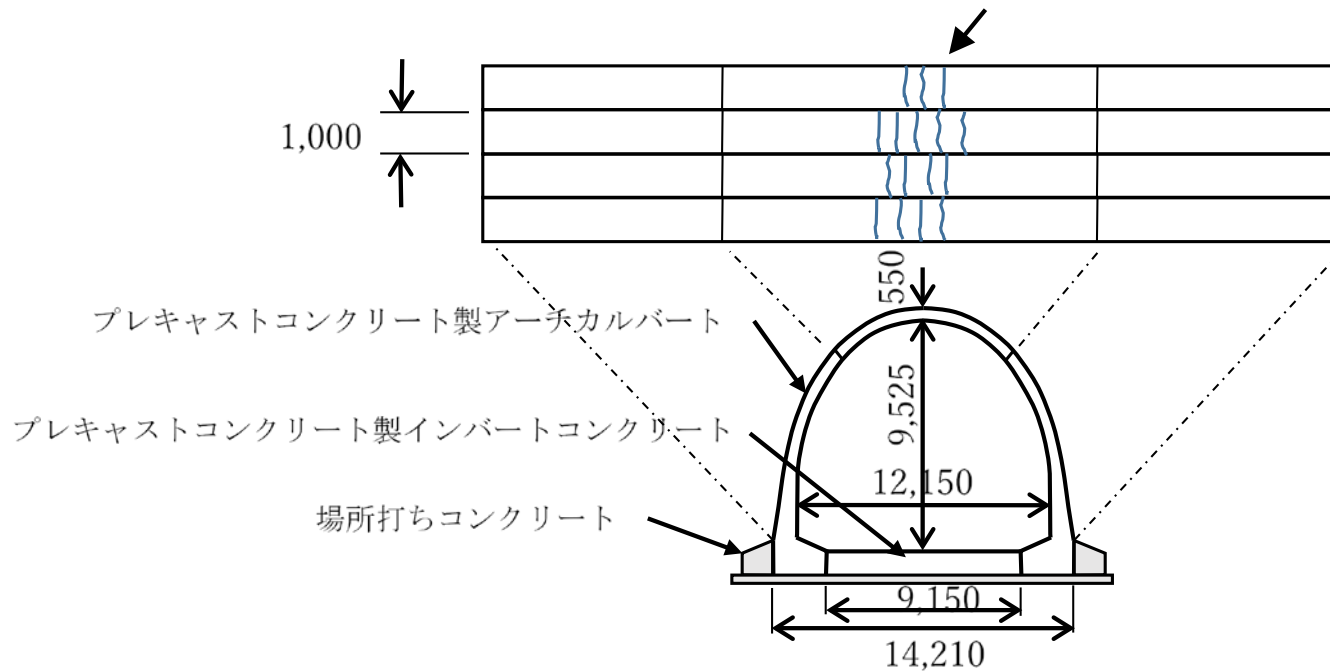
プレキャストコンクリート製のアーチカルバートの天端に軸方向(トンネル軸方向)のひび割れが多数発生していることが発注者より指摘された。当該構造物は図に示すように、盛土にて高速道路インターチェンジを築造する工事のうち、延長約130mのアーチカルバートである。

アーチカルバートの諸元は、内空高約9,500mm、製品長1,000mm、天端部の部材厚550mm、コンクリートの設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>で、土被りは最大で約13mである。アーチカルバートは平成17年に建設され、その3年後にひび割れが発生していることを発注者より指摘された。

ひび割れが多く発生している区間



幅0.1~0.3mmのひび割れが天端内面に発生



ひび割れは、アーチカルバートの天端軸方向に、図に示すような箇所によく発生していた。円周方向には数本のひび割れが約250mmの等間隔で発生していた。ひび割れの幅は0.1～0.3mmで平均0.14mmであった。また、ひび割れの深さを超音波測定器にて測定したところ40～110mmであり、部材を貫通していないことが確認できた。内側の鉄筋かぶりを電磁誘導法によって測定したところ、設計値の43mmに対して若干大きい48～68mmであった。コンクリートの圧縮強度はテストハンマー(シュミットハンマー)を用いた反発硬度法で推定したところ52～57N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度を満足していることが確認できた。

## ➤ 原因と対処方法

現地調査の結果、基礎地盤の沈下や盛土に変状は認められなかった。図に示すように、ひび割れの発生箇所が高盛土の部分と一致していることから、その発生原因は盛土の鉛直荷重によるものと推測した。

アーチカルバートの設計計算書では、鉄筋に発生する引張応力は約 $130\text{N/mm}^2$ 、ひび割れ幅 $0.2\text{mm}$ であり、鉄筋の許容応力度 $180\text{N/mm}^2$ 、鋼材腐食に対する許容ひび割れ幅 $0.21\text{mm}$  ( $=0.005c$   $=0.005 \times 43$ 、 $c$ はかぶり)を満足していることが確認できた。

発生しているひび割れのほとんどがこの許容ひび割れ幅以下であることから、ひび割れは構造設計どおりに発生しており、鋼材腐食に対する許容ひび割れ幅より小さいことが分かった。また、ひび割れの経過観察では、経時的な変化が認められなかったことより、構造耐力に影響はないものと考えた。

しかしながら、一部のひび割れには許容ひび割れ幅より大きいものがあった。これは実際のかぶりが設計値より若干大きくなっていることが原因と考えられたので、構造物の安全性を考慮して $0.2\text{mm}$ 以下のひび割れは表面処理工法、 $0.2\text{mm}$ を超えるひび割れは低圧・低速型のエポキシ樹脂注入工法にて補修することを提案し、発注者の承認を得て対処した。



## ➤ 同様の失敗をしないための事前検討

プレキャストコンクリート製のアーチカルバートに発生したひび割れは盛土の鉛直荷重によるものであり、発生したひび割れも設計計算とほぼ一致しているので構造的には問題ないと判断された。今回のケースは設計上あるいは施工上の「失敗」には該当しないと考えられるが、プレキャストコンクリート製のアーチカルバートにひび割れが発生したとの同様なクレーム事例が幾つか報告されている。

基礎地盤の沈下、盛土の手順ミス、重機の走行などを除くと、多くは設計思想の認識が発注者、設計者および施工者で異なっているためと考えられる。すなわち、構造物に設計荷重が作用すれば、天端部に曲げモーメントによるひび割れが発生することの認識を各者が共有することが重要であると考えられる。

当該構造物は許容応力度法で設計したものであり、ひび割れの発生を少なくしたい、あるいはその幅を小さくしたい場合には、鉄筋の許容応力度を小さく設定するか、許容ひび割れ幅を小さく設定して設計するなどの対処を事前に実施していれば今回のようなトラブルは生じなかったものといえる。

一方、現在の性能照査型の設計では、耐久性に関するひび割れ幅の限界値および使用性に関するひび割れの設計限界値を設定して照査することになっており、それら設定値を事前に協議しておくことが望ましい。

ただし、プレキャストコンクリートの鉄筋かぶりを設計通りに確保しなければならないのは当然である。

以上

#### 4) 打設準備(型枠・鉄筋組立等)

## 橋梁の断面修復工事で品質トラブル —はつり作業で母材に微少なひび割れ発生—

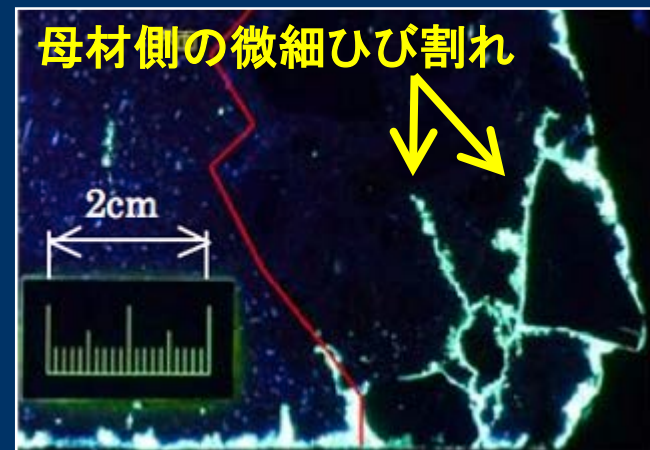
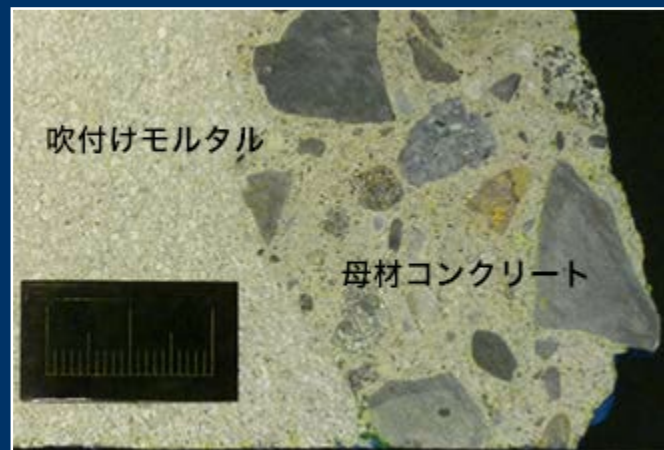
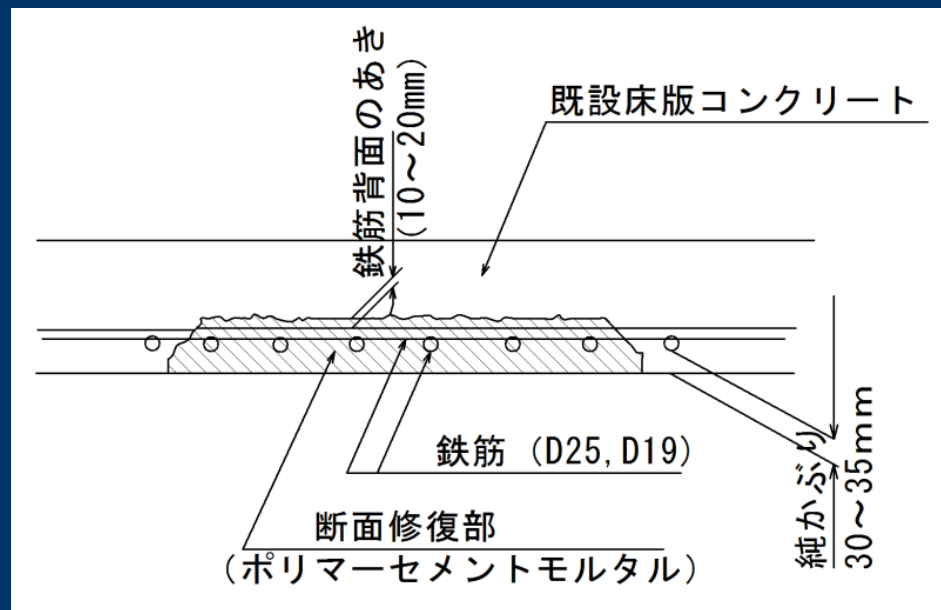
### ➤ 工事の概要とトラブルの内容

鉄道高架橋の補修工事において発生したトラブルである。梁および床版コンクリートの中性化が進み、部分的に鉄筋の発錆が認められたため、延命化ならびにはく落対策として部分断面修復工法による補修が行なわれた。

施工手順は、まず油圧ピックハンマで鉄筋の背面1~2cm程度までをはつり出して、人力で鉄筋をケレンした後、圧搾空気にて吹付け面を清浄にし、その後ポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け工法によりはつり箇所を断面修復した。断面修復の施工面積は延べ約30m<sup>2</sup>、1箇所当りの補修面積は1.0~3.0m<sup>2</sup>程度である。

吹付けモルタル硬化後、打音検査により付着状態を確認したところ、補修面積の2割程度で濁音が認められた。このため、コア抜き(φ50mm)により試料を採取し打継部の状態を確認したところ、打継部近傍で微細なひび割れが目視にて確認された。

さらに、浸透性の蛍光エポキシ樹脂をコアに含浸させ観察したところ、ひび割れは母材コンクリート側の粗骨材の界面部分が剥離したものであることが判った。他方、吹付けモルタルと母材コンクリートとの付着については、良好な状態であった。



## ➤ 原因と対処方法

詳細調査の結果、ひび割れが母材コンクリートの粗骨材界面で発生していることから、原因は11kg級油圧ピックハンマによる過剰な振動にあったと判断した。断面修復工事においては、はつり作業による母材コンクリートへのダメージを極力少なくすることが肝心である。本事例は、現場においてこの認識不足が招いたトラブルといえる。

改善策として、はつり機器等の選定、またその組合せ方法について種々試験した結果、はつり作業ならびにはつり面の仕上げ方法について、下記の手法の組合せで付着不良の発生を防止することができた。

- ① はつり作業にはより打撃力の少ない5～7kg級の油圧ピックハンマを用い、仕上げはつり(2cm程度)として低打撃力の2～3kg級のエアーチツパを用いる。
- ② はつり作業後は、吐出圧20MPa程度の高圧洗浄機にて脆弱部除去、洗浄を行なう。

また、高圧洗浄機については、吐出圧50MPa程度の高性能のものも市販されてきており、浮きの生じている母材をより効率的に除去できることも確認している。

### ➤ 同様の失敗をしないための事前検討・準備、施工時の留意事項

通常、断面修復工の付着性能、ひび割れ抵抗性能などの品質は、発注者が定める認定試験で評価される。しかし、認定試験は、吹付け工法、吹付け材料の性能を確認することに主眼が置かれ、指定された同一の下地処理条件下（例えば、ブラスト処理された試験板など）で実施される。このため、現場の施工状況が必ずしも反映されているとは言えない。

本事例は、母材コンクリート内部の微細なひび割れといった認定試験では想定されない要因により発生したトラブルである。また、同じようなトラブルは吹付けモルタルの養生方法、吹付け作業員の技量の良し悪しによっても発生する。このため、断面修復工事においては、認定試験の結果とともに、現場の施工条件を反映した性能確認試験を施工に先立って実施しておくべきと言える。

一方、全断面修復工事など施工規模の大きい工事では、近年ウォータージェット工法（吐出圧150～300MPa程度）によりはつり作業を行なうケースも多くなっている。ウォータージェット工法は、母材コンクリートを傷めず、適度な粗面を形成できるため付着性能も向上する。さらに、最近ではポンプ能力の向上やノズルシステムの改善により作業効率も高くなっている。経済性では若干劣る点もあるが、ある程度の施工規模を有する場合には工法検討に加えて良いと思う。

以上

# コラム：編集委員の独り言…

「現場の失敗と対策」編集委員が現場や研究の中で感じた思いや、技術者に関わる情報が綴られています。

- 断面修復工でのコンクリートの再劣化  
—マクロセル腐食—
- スラブ下面にサイコロの跡
- 錆止め剤の効用
- 最近のコンクリートは「白っぽく」て「つや」が無い？
- 道路橋下部工におけるアンカーボルトの箱抜き
- マスコンクリートの打込み

(コンクリート関係のみ掲載)



ご清聴ありがとうございました。