

ウォータージェット工法による供用中の電力洞道の補修

森 康雄* 時岡誠剛** 的場重道*** 緒方明彦**** 森本浩二*****

建設後約 40 数年経過した電力洞道において、側壁の主筋に沿ってはく離、はく落していた箇所補修方法の検討とその施工について報告する。電力洞道には多数のケーブルが敷設されており供用させながら狭い場所での施工方法の選定がポイントであった。コンクリートの除去工法としてウォータージェット工法（以下、WJ 工法と呼ぶ。）の安全性、施工性について事前に確認を行い、ケーブルの防護工法について検討した。また、かぶりコンクリートの除去に伴う構造的な安全性についても検討し、工事は無事に完了した。

キーワード：ウォータージェット工法、洞道、補修

1. はじめに

建設後約 40 年経過した電力洞道において、側壁の主筋に沿ってかぶりコンクリートがはく離しており、側壁やスラブでは側壁のはく離とは原因の異なると考えられるひび割れが顕在化してきた。平成 17 年頃から各種調査を実施しており、対策について検討を行ってきた。ここでは、側壁のかぶりコンクリートのはく離部の補修方法の検討とその施工について報告する。

本洞道は変電所からの送電ケーブルを敷設収納している。場所は市街地で港（海岸）から 300m 程度離れている。供用開始は 1969 年である。内空断面は幅 1.6m、高さ 1.95m、延長 76.5m で線形は途中で 90 度曲っており L 字型になっている。土被りは 1.5m～2m である（Fig. 1～Fig. 2 参照）。

2. 現 況

1 ブロック 7.5m とし 10（A～J）ブロックに分割し施工前に概要調査（目視によるひび割れ調査等）した。調査結果の展開図を Fig. 3 に示す。劣化の特徴は以下の通りである。

（1）A～E ブロック

側壁（ハンチ含む）の主筋に沿って被りコンクリートがはく離、はく落が多く見られた。はく離、はく落箇所は鉄筋かぶりが小さく鉄筋が露出して錆びている。鉄筋腐食状況は表面的な腐食が多いが、部分的には断面欠損が見られる箇所もある。

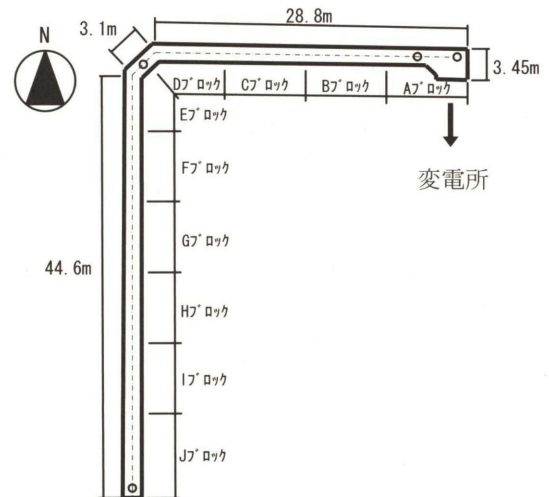


Fig. 1 平面図

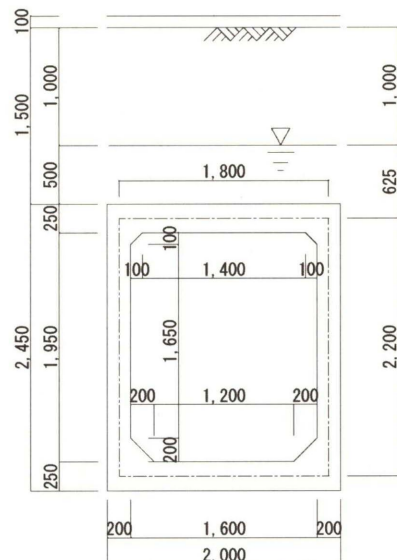


Fig. 2 標準断面図

- * 土木事業本部 環境・リニューアル技術部
- ** 技術研究所
- *** 広島支店 土木部 四国工事部
- **** 土木事業本部 土木設計部
- ***** 四国電力 高松支店 電力部

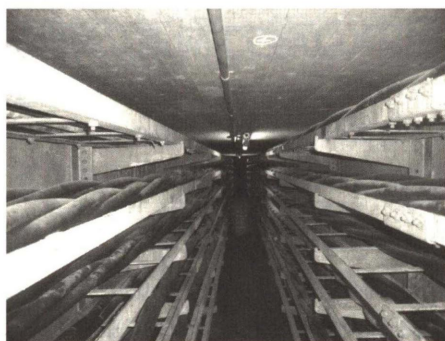


Photo. 1 洞道内状況

(2) F～Jブロック

スラブ中央に幅 0.1～0.45mm のひび割れが、側壁には水平方向に以外に数箇所不規則なひび割れ（幅 0.1～0.5mm）が見られる。

3. 既往の調査、検討

既往の調査記録として以下のように各種調査検討が実施されている。

(1) ひび割れ調査

平成14年3月、平成16年3月、平成17年8月に調査したひび割れ展開図がある。

平成17年に以下の試験を実施している。

(2) その他の調査

側壁6箇所でコンクリートコア（φ73.5mm）を採取し、圧縮強度試験、引張強度試験、中性化深さ測定、配合推定試験、塩化物イオン濃度の測定等を実施している。また、ひび割れの進行性の有無を確認するために8箇所に金属プレートを埋設して進展状況をチェックしている。

(3) 構造検討

各種荷重条件のもとで構造的な検討が実施されている。

(4) 判定

A～Eブロックの主筋に沿ったかぶりコンクリートのはく離、はく落またはひび割れは中性化、塩化物イオンにより鉄筋が腐食したことが原因であるとしている。また、F～Jブロックのスラブ中央や側壁の水平方向のひび割れについては通常の車両荷重においては構造上の安全性が確保されているため、ひび割れ発生の直接的な原因ではないと判断している。

(5) 対策

1) A～Eブロック

錆びた主筋に沿ってコンクリートを除去し、鉄筋の錆落とし、防錆、断面修復を行う。

2) F～Jブロック

以下の項目について調査、検討し補修・補強の要否、時期を決定する。

- ・ひび割れ幅と進行性
- ・ひび割れ発生位置と鉄筋被りの関係
- ・現況のひび割れが発生する場合に想定される車両荷重

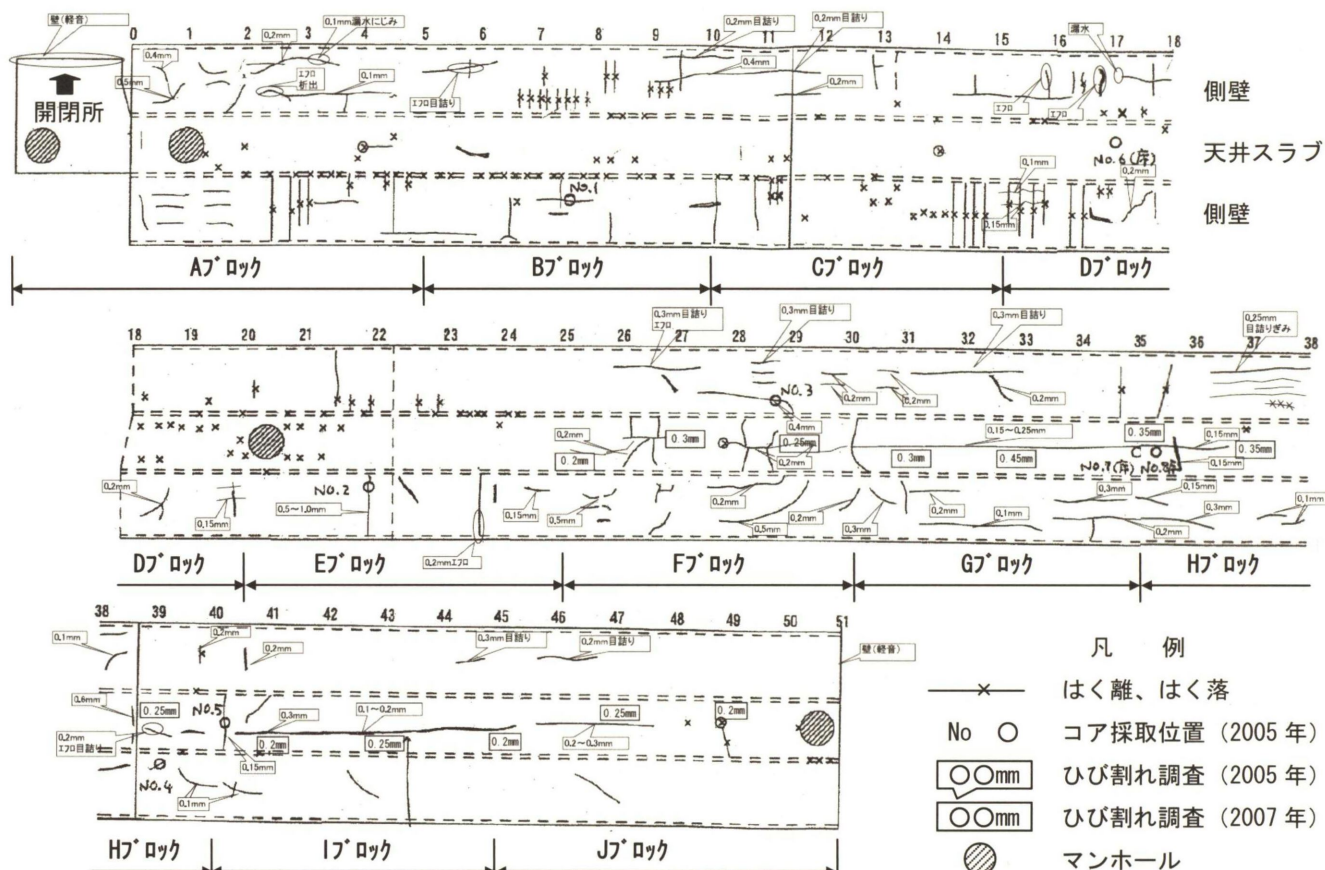


Fig. 3 ひび割れ展開図

4. 全体工程

調査結果をもとにした補修計画、補修工事の全体工程を Table 1 に示す。

Table 1 補修工程

	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度
補修計画			
補修工事			
A, B ブロック		—	
B~D ブロック		—	
D~J ブロック			—

5. 補修計画

ここでは、側壁の主筋に沿ったはく離、はく落を除去する工法の事前検討について概要を述べる。

5. 1 コンクリート除去工法の選定

(1) 工法の比較検討

コンクリート構造物の解体工法としては通常外的破碎工法、内的破碎工法、穿孔工法、切断工法等があるが、これらのうちコンクリートの除去工法を Table 2 に示す。本洞道は内空断面が幅 1.6m、高さ 1.85m で、多くのケーブルが配置収納されており、資機材の搬入口がφ60cm のマンホールが 3 箇所しかないため、大型機械を使った工法が採用できない。

ここでは WJ 工法のうち人力によるハンドガン方式とハンドブレイカー工法が適すると考えられる。ケーブルを配置収納しているラックの隙間が 20~30cm しかなく、ケーブルの防護工を考慮すると作業スペースは極めて狭く、ハンドブレイカーを手で把持、固定することが極めて困難である。すなわち、コンクリート除去工法として WJ 工法のハンドガンタイプだけが選択肢として残された。

Table 2 コンクリート構造物の除去工法

分類	工法例
外的破碎工法	構造物を外側から直接的に打撃、振動、加圧等により破碎する ハンドブレイカー工法
内的破碎工法	構造物に穿孔した孔を利用して機械的または化学的に拡孔方向に加圧して亀裂を発生させたり爆破させる 静的破碎剤
その他の工法	WJ 工法 直接通電加熱工法

(2) WJ 工法の施工性、安全性の確認

WJ 工法のハンドガンタイプでケーブルに損傷することなくある程度の効率性をもってコンクリートを除去できるかどうか施工性、安全性について事前に確認した。

1) WJ の仕様

WJ の仕様は、以下のように圧力を 100MPa と 150MPa、流量を 10L/分とした。

1) 既設コンクリート強度から噴射圧力決定

噴射圧力は噴射エネルギーと破碎能力の比例関係が成立するため、コンクリートの一軸圧縮強度に対して少なくとも 2~4 倍以上の噴射圧力が必要であるとされる。既設のコンクリート強度が 30N/mm² 程度であることから 60~120MPa 以上の噴射圧力が必要である。

2) 噴射反力の算出式より圧力と流量決定

本工事は洞道内の狭隘な場所での人力作業であるため、式(1)より求まる噴射反力が 100N (約 10kgf) 以下となるように仕様を決定した。

噴射反力は式(1)で求めることができる。

$$F = 0.73 \times Q \times \sqrt{P} \dots \dots \dots (1)$$

$$= 0.73 \times 10 \times \sqrt{100 \sim 150}$$

$$= 73.0 \sim 89.4 \text{ (N)}$$

ここに、

F : 噴射反力 (N)

Q : 噴射流量 (L/分)

P : 噴射圧力 (MPa)

また、WJ が噴出する先端のノズルは 2 穴回転、スタンドオフ (ノズル先端から既設構造物の表面までの距離) は 5cm とした。

2) 安全性の確認

WJ が電線ケーブルに直接当たることがないように各種防護工の効果について予備実験を行い防護工の仕様を決定した。実験に使用した材料は Table 3 の通りである。噴射時間はすべて 5 秒とした。

Table 3 安全性確認実験の防護工材料

材 料	仕 様
ゴムシート	厚さ 5mm、8mm
支線ガード	黄色パイプ、トラ模様
コルゲートパイプ	
アルミ板	厚さ 0.2mm、厚さ 0.3mm (2 重)
トタン板 (亜鉛メッキ鋼板)	t=0.27mm

試験結果を Table 4 に示す。

実験結果から、100MPa、150MPa でも噴射時間 5 秒程度であれば防護工の材料としては厚さ 0.27mm のトタン板 (亜鉛メッキ鋼板) で十分であることがわかった。

3) 施工性の確認

WJ ハンドガン先端部 (ノズル) の動作範囲を事前に現地で確認した。確認状況を Photo. 2 に示す。

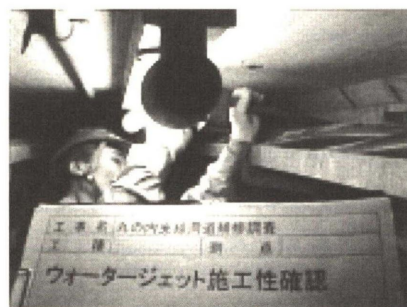


Photo. 2 WJ ハンドガン施工性確認状況

Table 4 ケーブル防護工の事前実験結果

防護材		圧力	結果	判定	
材質	仕様				
ゴムシート	t=5mm	100MPa	破断した	×	
	t=8mm		少し破れる	×	
支線ガード	黄色パイプ		毛羽立つ	△	
ゴムゲートパイプ			毛羽立つ	△	
支線ガード	トラ模様		毛羽立つ	△	
アルミ板	t=0.2mm		穴があく	×	
	t=0.3mm、2重		わずかに変形、穴はあかない	△	
トタン板	t=0.27mm		まったく変化なし	○	
支線ガード	黄色パイプ		150 Mpa	損傷する	×
コルゲートパイプ				穴あく	×
アルミ板	t=0.3mm、2重	噴射部分が少し変形する		△	
トタン板	t=0.27mm	変化なし		○	

4) 防護工

実際に現場で使用した防護工の設置状況を Photo. 3 に示す。クッション材としてゴムシート（厚さ3mm）でケーブルを巻き立てさらにその外側を厚さ 0.3mm の鋼板で防護した。



Photo. 3 防護工設置状況

4) 計算結果

上記検討ケースで最も断面力が大きなケース 2 の断面力を Fig. 4 に、側壁の応力度照査を Table 6 に示す。

5. 2 コンクリート除去時の構造検討

1) 検討方針

WJ でコンクリート表面を除去した場合の構造的な安全性について検討した。検討モデルとしては、頂版、左右の側壁内側を 5cm 除去した場合について検討する。

2) 計算条件

- ・材料および配筋については、外側：D13@150mm、内側：D13@300mm である。
- ・鉄筋かぶり、外側および底版については元設計通り 6cm とする。頂版、側壁の内側については 2cm とする。
- ・活荷重は、道路土工指針に従って T-25 を載荷する。
- ・許容応力度は短期許容とする。

$\sigma_{ca} = 10.5 (N/mm^2)$

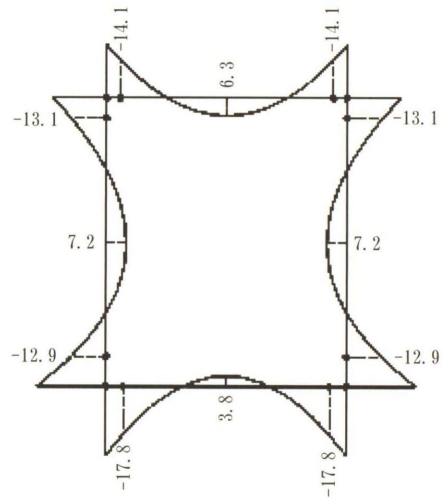
$\sigma_{sa} = 240.0 (N/mm^2)$

3) 検討ケース

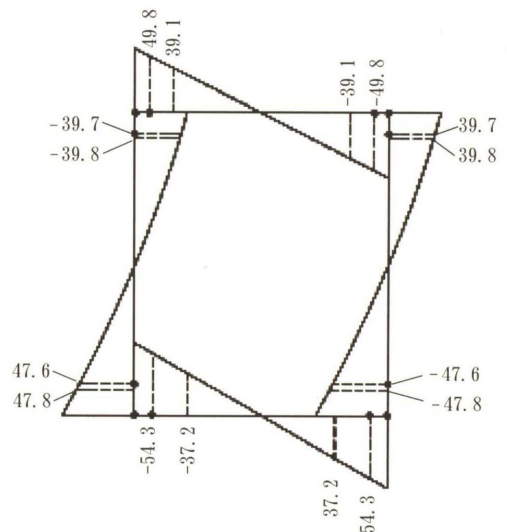
検討ケースは Table 5 の通りとする。

Table 5 検討ケース

検討ケース No	荷重
1	死荷重
2	死荷重 + T 荷重 (2 軸) 250 (kN)
3	死荷重 + 側圧



曲げモーメント図



せん断力図

Fig. 4 断面力図 (ケース 2)

5) 判定

計算結果 (Table 6 参照) より, 頂版および左右側壁内側のかぶりコンクリートを 5cm 除去しても短期許容においては, 鉄筋, コンクリートともに発生応力度は許容値以下となる。

Table 6 側壁の応力度照査表 (曲げ応力)

項目	単位	上隅角部			支間部			下隅角部		
		外側引張			内側引張			外側引張		
曲げモーメント	M	kN.m	-13.1	7.0	-12.9					
軸力	N	kN	56.3	36.7	63.1					
部材幅	b	cm	100.0	100.0	100.0					
部材高	h	cm	15.0	15.0	15.0					
有効高	d	cm	9.0	13.0	9.0					
外側鉄筋かぶり	d1	cm	6.0	6.0	6.0					
内側鉄筋かぶり	d2	cm	2.0	2.0	2.0					
必要鉄筋量	外側	cm ²	5.12	2.64	4.75					
	内側	cm ²	2.56	1.32	2.38					
使用鉄筋	外側	cm ²	D13 #150 D- $\frac{\pi}{4}$ 8.447	D13 #150 D- $\frac{\pi}{4}$ 8.447	D13 #150 D- $\frac{\pi}{4}$ 8.447					
	内側	cm ²	D13 #300 D- $\frac{\pi}{4}$ 4.223	D13 #300 D- $\frac{\pi}{4}$ 4.223	D13 #300 D- $\frac{\pi}{4}$ 4.223					
中立軸	X	cm	3.978	4.823	4.062					
応力度	σ_c	N/mm ²	8.00	3.57	7.77					
	σ_s	N/mm ²	151.44	90.82	141.74					
許容応力度	σ_{ca}	N/mm ²	10.50	10.50	10.50					
	σ_{sa}	N/mm ²	240.00	240.00	240.00					
検討ケース			2	3	2					

6) 必要鉄筋量

WJ でかぶりコンクリートを 5cm 除去した際に必要とされる鉄筋量を算出し, 鉄筋腐食量が構造上の安全性に及ぼす影響, 施工中の補強の必要性について検討した。

コンクリート除去時に内側鉄筋の曲げモーメントによる必要鉄筋量を算出すると Table 7 のようになる。

Table 7 側壁内側鉄筋の必要鉄筋量

部位	モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	桁高 (cm)	被り (cm)	A sreq (cm ²)
頂盤内側	6.300	44.800	20.0	0.0	0.721
側壁内側	7.000	36.700	15.0	0.0	1.592

D13 は 1 本の断面積が 1.267cm² であることから, 頂版は 1m あたり 1 本以上の鉄筋が, 側壁は 1 本程度鉄筋があれば, 構造上の安全性を確保しながら施工可能である。

施工時には鉄筋の断面欠損率を測定しながら, 同時に施工する範囲を決定する必要がある。

6. 補修工事

6. 1 概要

側壁の主筋に沿ったはく離, はく落の補修工事の作業フロー図を Fig.5 に, 標準的な補修断面図を Fig.6 に示す。補修対象箇所は打音調査により濁音や軽音を発する場所とした。また, 補修後における設計の鉄筋かぶりを確保するために断面修復は既設の構造物表面から増厚して施工した。

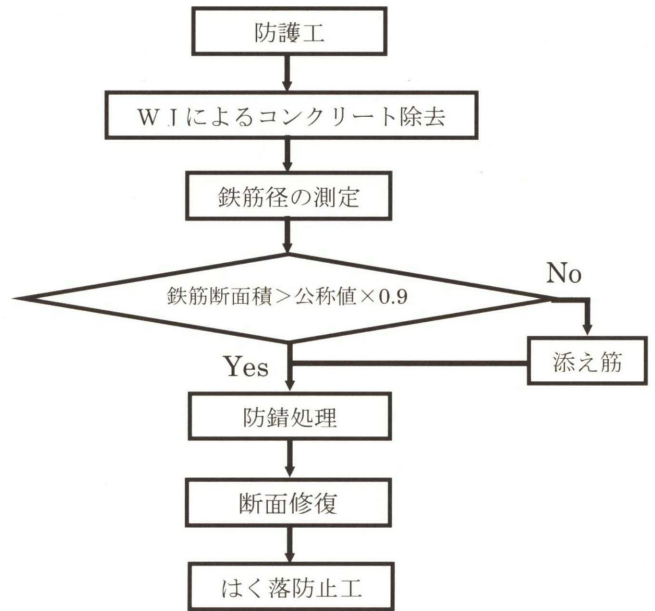


Fig.5 補修工事の施工フロー図

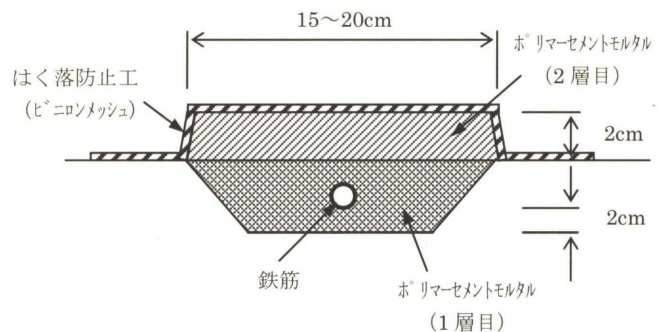


Fig.6 補修断面図

6. 2 WJ 工法によるコンクリート除去工

(1) 施工機械

施工時の WJ の仕様は 150MPa とし, 高圧水発生装置は車載型 (トラックマウント, 2t 車) を使用した。施工時に使用した WJ 工法の主要使用機器を Table 8 に示す。

コンクリート除去の施工数量は幅 15~20cm, 延長 85.4m, 面積は 17.1m² で, 平均的な施工速度は 4m/日, 0.8m²/日であった。

Table 8 WJ工法における主要機械

機械名称	仕様	単位	数量
高圧水発生装置	150MPa, 15L/分	台	1
ハンドガン	ノズル2穴, 回転式	台	1
安全バルブ	高圧ホース分岐用	個	1
超高圧水ホース	250MPa, 径8mm	本	5
ノッチタンク	3m ³ 用, 濁度, pH調整	個	1
水中ポンプ	2インチ	台	1

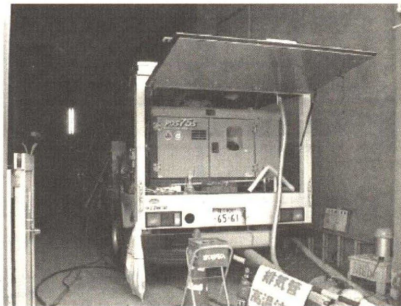


Photo. 4 高圧水発生装置



Photo. 5 WJ工法施工状況

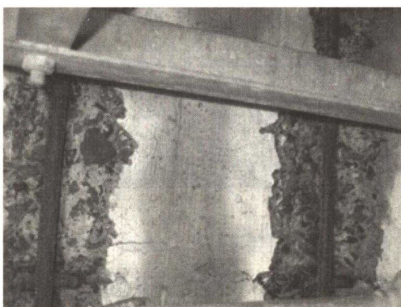


Photo. 6 コンクリート除去後

(2) 安全対策

作業場所が狭隘な空間であるためミスト（WJにより発生する霧状の細かな水粒子）による視界不良対策として強制的に換気を行った。

作業員は保安帽, 保護面（フルフェイス）, 防護服, 防護手袋, 安全靴を着用して施工した。

(3) 濁水処理

通常はWJ工法で発生する濁水は強アルカリ（pH11～12）

で濁度が大きいため濁水を水中ポンプで屋外の廃水処理タンクに回収して濁度とpHを調整して基準値以下にして排水する。

本工事では、既設コンクリートの中性化によるためかpHは中性領域であったため、pHの調整はしなかった。また、濁度についても排水量が少ないこともあり、浮遊物の自然沈降により上水を排水して処理した。

6. 3 鉄筋処理工

WJ工法でかぶりコンクリートを除去後、鉄筋の腐食（欠損）状況を確認し鉄筋径をノギスで測定した。断面積が10%以上欠損している場合は添え筋（D13）を配筋した。

鉄筋は施工当初の黒錆が残っている部分も多く、表面的な劣化状況（被りコンクリートのはく離、はく落）の割には腐食の程度は軽微（表面的な錆）であり、添え筋の施工箇所は10箇所（添え筋延長30～50cm）程度であった。

添え筋の継手方法は、重ね継手が不可能であるため「鉄筋フレア溶接継手設計施工指針」をもとに溶接継手とした。添え筋の両端部を必要な長さ（フレアV型の場合は10D=13cm）既設鉄筋と溶接した。

セメント系紛体に亜硝酸リチウム及びエポキシアクリル系エマルジョンを配合した鉄筋防錆材を刷毛で2回塗布した。

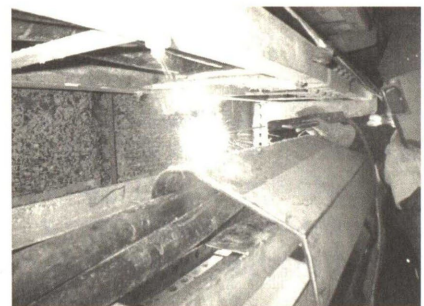


Photo. 7 溶接継手施工状況

6. 4 断面修復工

ポリマーセメントモルタルで断面修復を行った。

場所も狭隘であり施工面積も少ないため左官工法としグラスファイバー繊維を混入した厚付け用の材料とした。ペール缶にプレミックス材料（セメント, 砂, 繊維）とポリマーを投入しハンドミキサーで練り混ぜた。1層あたりの施工厚さは2～3cmとし2層塗りを基本とした。既設コンクリートの除去面にはあらかじめ接着剤を塗布し断面修復材をコテ塗りした。

材料の物性値（メーカーカタログ）をTable 9に配合をTable 10に、施工状況をPhoto. 8に示す。

現場で使用した材料と同じ製造ロットの材料を使って工場で製作した供試体の強度試験結果をTable 11に示す。

Table 9 断面修復材の物性値

	強度 (N/mm ²)			可使用時間 (分)
	圧縮強度	曲げ強度	付着強度	
規格値	25.0	6.0	1.5	60※
室内実験	35.1	6.4	2.3	—

※ 冬季

Table 10 断面修復材の配合 (単位: kg)

材料	プレミックス材	ポリマー	水
重量	25	1	3.5

Table 11 断面修復材の圧縮強度試験結果 (単位: N/mm²)

供試体 製作日	材齢	圧縮強度	曲げ強度	接着強度
H19.9.19	7日	22.7	5.3	1.6
	28日	35.5	6.5	2.4
H20.2.5	7日	22.2	5.6	1.5
	28日	34.9	6.7	2.1



Photo 8 断面修復施工状況

Table 12 ビニロンメッシュシートの物性

使用糸		高弾性ビニロン糸 2,000dtex (=1,800 デニール)
構造		3軸組布
密度	本/25mm	2.8
1辺の長さ	mm	10
引張り強さ	N/本	215
単位面積当り繊維質量	g/m ²	86

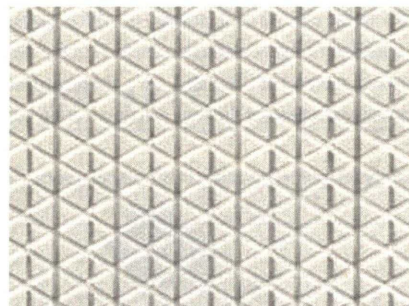


Photo 9 3軸ビニロンメッシュシート

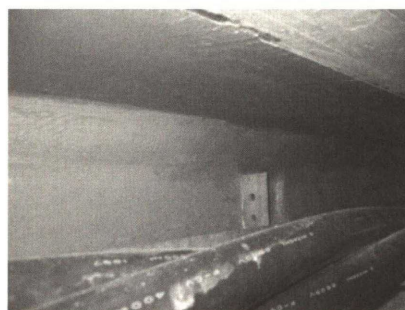


Photo 10 はく落防止工施工状況

6. 5 はく落防止工

コンクリート除去範囲の端部は除去形状が斜め（フェザーエッジ）になるため、通常は除去範囲の端部にコンクリートカッターで垂直に目地を入れてコンクリートを除去し、端部の断面修復材のはく離を防止する。

しかし、本工事ではケーブルラックと側壁、ケーブルラック同士の隙間が狭いためコンクリートカッターで目地をいれることはできなかった。したがって、ここではカッター目地は入れないものとし断面修復工を行った後、はく落防止工として修復材の表面にエポキシ系接着剤で3軸ビニロンメッシュシートを貼り付けた。

はく落防止工は、断面修復材料が硬化して表面含水率が低下してから施工した。コンクリートの含水率が高い状態では、接着用の樹脂が硬化不良を起こし、将来的にはがれや膨れの原因になるため、養生期間を1週間とった。

3軸ビニロンメッシュシートを Photo. 9 にその物性を Table 12 に示す。また、施工状況を Photo. 10 に示す。

7. おわりに

2年間にわたり計3回に分割して施工した補修工事は無事終了した。かぶりコンクリートのはく離、はく落箇所の断面修復工事はどこでも施工している普通の工事である。この工事のポイントは、「はじめに」でも書いたように送電を供用しながらの狭隘な場所でのコンクリート除去工法の選定と施工である。コンクリート除去の施工効率は悪くならざるをえないがケーブルに傷をつけることも無く、狭隘な場所で災害も無く無事に工事は終了した。

今後、同様な施工条件での補修工事の参考となれば幸甚である。

謝辞

本施工を実施するにあたり、ご指導、ご助言をいただいた関係各位の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター, 道路構造物解体ハンドブック, 2004年8月30日
- 2) 日本ウォータージェット施工協会, ウォータージェット工法計画・施工の手引き, 2004年3月
- 3) 財団法人鉄道総合技術研究所, 鉄筋フレア溶接継手設計施工指針, 昭和62年9月

Repair of Operating Electric Cable Tunnel with the Water Jet Method

Yasuo MORI, Seigo TOKIOKA, Shigemichi MATOBA; Akihiko OGATA and Kouji MORIMOTO

Abstract

We hereby report about examination of a repair method and its actual repair work at the place of which the sidewall separated or flaked along main reinforcement bar in the electric cable tunnel, of which more than 40 years have passed since its completion. A lot of cables were laid in the tunnel and the key point was selection of the construction method at the narrow place and under the condition that cables were operated. Water Jet method was selected out of many removal method of concrete. We confirmed safety and work characteristics in advance and decided a protection method of cables. In addition, We examined structural safety for the removal of covering concrete and completed the repair work safely.

Keywords : water jet method, electric cable tunnel, repair
