

低粉塵型乾式PCM吹付け工法を用いたマンホールの躯体のEQM補修・補強技術および効果

EQM repair / reinforcement technology and effect of manhole frame with lowdust emission type dry spray system using PCM

阿部 忠 水口 和彦 熊谷 光記 安藤 重裕

1. はじめに

下水道管路施設は、2023(令和5)年度末で整備延長約49万kmに達し、これに伴い布設された下水道マンホールは1,600万基に達すると云われている。この膨大な下水道施設の老朽化による修繕コストの増加、管きょ劣化に伴う道路陥没等が懸念されている。よって、長寿命化対策においては下水道マンホールの非開削による補修・補強工法の開発が急務となっている。

下水道における損傷の多くはマンホール躯体コンクリートの硫酸劣化などの化学的侵食やひび割れの発生、地震動による継手部の損傷などである¹⁾。

また、建設当時の設計荷重が設計書の変遷に伴い、増加されるなど厳しい状況にある。したがって、老朽化対策および設計荷重の増加に対する補修・補強技術が必要となる。これらのことから筆者らは、道路直下に建設される下水道マンホール躯体(以下、マンホール躯体と称す)に着目し、長寿命化が期待できる補修・補強技術の新技术を提案する。

そこで本研究では、化学的侵食による老朽化したマンホール躯体を建設当初の機能回復および耐荷力性能の向上を図るための新技术として低粉塵型乾式PCM吹付け工法を用いた補修・補強工法を提案する。補修・補強効果では補強界面の引張強度、静荷重載荷実験による耐荷力を評価し、マンホール更生工法の一助としたい。

2. マンホール躯体の材料および供試体寸法

2-1. 基準マンホール躯体の形状寸法

基準マンホール躯体および補修・補強に用いるマンホール躯体の形状寸法は、A政令都市下水道局の下水道施設標準図およびJSWAS A-11-2005²⁾に準拠し、現場打ちの下水道2号マンホールを作製した。ここで、補修・補強する基準マンホール躯体の寸法を図1(1)に示す。なお、補修・補強厚は20mmである。

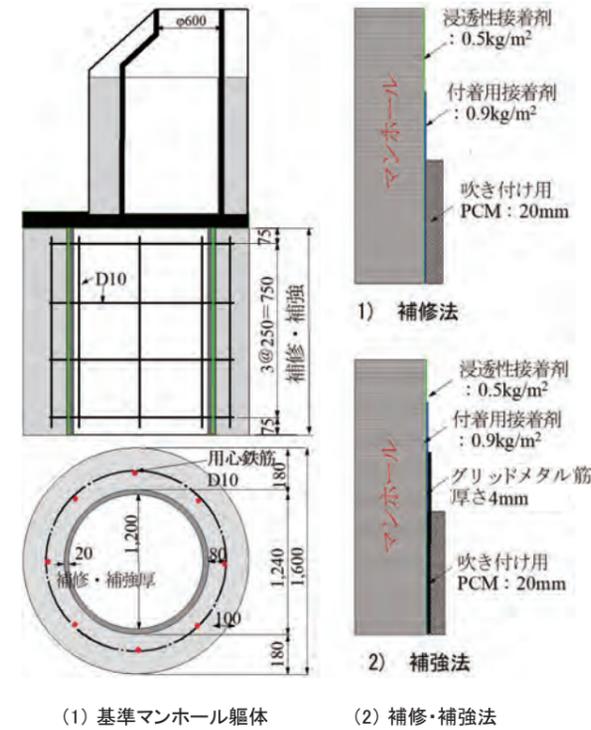


図1 マンホール躯体の寸法および補修・補強法

2-2. 補修・補強用マンホール躯体の形状寸法

補修・補強用のマンホール躯体は、化学的侵食したマンホール躯体を想定し、化学的侵食による断面欠損を20mm考慮して壁厚を180mmとする。ここで、補修・補強用マンホール躯体の形状・寸法を図1(1)に示す。寸法は、内径1,240mm、壁厚180mm、外径1,600mm、高さ900mmである。補修・補強厚は基準マンホールの内径寸法に合わせるため厚さ20mm、壁厚200mmとする。供試体名称をC.M-Nとする。

補強供試体は、厚さ20mmの内部にグリッドメタル筋を縦および横配置の2種類の配置とする。縦配置した供試体名称をC.M-G-L、横配置した供試体をC.M-G-Sとする。なお、本供試体には補強効果の検証時に脆性的な圧壊を防止するためにコンクリート内部にSD345・D10の用心鉄筋を配置した。

2-3. 供試体コンクリートおよび鉄筋

本コンクリートの要求性能は、当時のコンクリートの設計強度18N/mm²とする。そこで、躯体コンクリート

表1 浸透性接着剤および付着用接着剤の性能

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤
圧縮強さ	104.4 N/mm ²	102.9 N/mm ²
圧縮弾性係数	3,172 N/mm ²	3,976 N/mm ²
曲げ強さ	92.8 N/mm ²	41.6 N/mm ²
引張せん断強さ	58.2 N/mm ²	14.9N/mm ²
付着強さ	2.6 N/mm ² 以上 >1.0 N/mm ²	3.7 N/mm ² 以上 >1.0 N/mm ²

表2 PCMの配合条件

項目	単位体積重量(kg/m ³)		
	プレミックス粉体	ポリマーエマルジョン	水
PCM	1939	106	166

には普通ポルドラントセメントと5mm以下の砕砂および5mm~20mmの砕石を用いて製作した。実験時のコンクリートの圧縮強度は22.3N/mm²である。

2-4. マンホール躯体の補修・補強材料

2-4-1. マンホール躯体の補修材

マンホールの補修材には、2種類の接着剤^{3,4)}と一般的に市販されている乾式吹付用で薄層施工可能なPCMを用いる。化学的に侵食したマンホールのコンクリート表面では、セメント成分の滲出、0.2mm以上のひび割れが発生している。このコンクリート表面を強固にするために、ひび割れ補修を目的としたエポキシ系の浸透性接着剤を用いる。この浸透性接着剤は0.05mm以上のひび割れの補修に用いられている。化学的侵食したコンクリート表面に塗布することで、コンクリート表面が強固になる特長がある。次に、吹付け用のPCMとの付着を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤と称す)を用いる。ここで、浸透性接着剤および付着用接着剤の性能を表1に示す。なお、両接着剤とコンクリートとの引張接着強度はそれぞれ2.6N/mm²、3.7N/mm²以上の結果が得られている。

次に、本実験供試体は20mm厚をPCMで元の厚に戻す補修を施す。ここで、PCMの配合条件を表2に示す。PCMは補修および補強に用いる材料であり、



あべ ただし / ABE Tadashi
日本大学
名誉教授



みなくち かずひこ / MINAKUCHI Kazuhiko
日本大学生産工学部
土木工学科
教授



くまがい みつなり / KUMAGAI Mitsunori
日本大学大学院生産工学研究科
博士後期課程 土木工学専攻



あんどう しげひろ / ANDO Shigehiro
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所

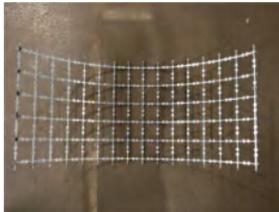


(1) レーザスリット加工

(2) 格子筋完成



(3) 縦型



(4) 横型

写真1 グリッドメタル筋の製作および折り曲げ加工

材齢28日の圧縮強度が50N/mm²以上発現する材料である。実験時の圧縮強度は53.0N/mm²であった。PCMは専用のプレミックス材料であり、従来の乾式吹付工法だけでなく、低粉塵型乾式PCM吹付け工法での使用も可能である。

2-4-2. マンホール供試体の補強材

設計基準の変遷や耐荷力不足、損傷が著しいマンホール躯体は補強によって耐荷力性能を向上させる必要がある。そこで、薄層補強に用いる補強材は鉄筋に替わる補強筋である厚さ4.5mmのグリッドメタル筋^{5,6)}を用いる。

一般的に、マンホールは内部空間を広く確保する必要があるが、鉄筋配置を行う補強においては鉄筋が交差することから40mm以上の厚さが必要となる。本供試体では化学的侵食により20mm欠損した場合を想定し、補強後に同等の厚さとなるよう補強を実施するために、鉄筋に替わる一面加工したグリッドメタル筋を採用した。ここで、グリッドメタル筋の製作方法を写真1に示す。一般鋼板あるいは縞鋼板を用いて、レーザーで直接格子スリットを挿入し(写真1(1))、格子状に切断加工(写真1(2))したものである。マンホール躯体に用いる場合は、曲線状に加工する必要がある。曲線状の加工には、油圧式プレスブレーキを用いて(写真1(3))R=1,240mmとした。加工後の横型の形状

表3 グリッドメタルの材料特性値

断面寸法 (mm)	格子間隔 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
4.5×7.0	75	325	559	200

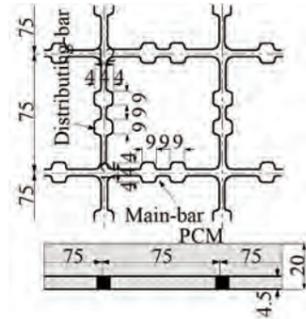


図2 グリッドメタル筋の寸法

を写真1(4)に示す。縦型も同様の方法で製作した。ここで、グリッドメタル筋の材料特性値を表3に示す。

グリッドメタル筋の形状寸法は、マンホールの鉄蓋の直径が600mmであることから、搬入を考慮すると幅600mm以下とする必要がある。よって、本マンホール躯体に用いるグリッドメタル筋の格子間隔は図2に示すように75mmである。縦型配置の寸法は幅620mm、高さ825mmで切断し、写真1(3)に示す折り曲げ加工後の寸法は600mm以下となる。

3. 低粉塵型乾式PCM吹付け補強工法

3-1. 湿式と乾式の比較

マンホール躯体の補修・補強においては、型枠の設置や撤去を必要としない吹付け工法を採用する。吹付け工法には、乾式吹付け工法と湿式吹付け工法とがある。

吹付け工法は、圧縮空気によって打込み箇所に吹き付けて施工することで、型枠を使用することなく広い面積に比較的薄いモルタル層を施工することが可能である。ここで、湿式吹付け工法と乾式吹付け工法の比較を表4に示す。基本的に湿式吹付け工法と乾式吹付け工法を比較した場合、乾式吹付け工法は材料圧送の長距離化や厚付けが可能のため一層の吹付け

表4 湿式吹付け工法と乾式吹付け工法の比較

項目	湿式吹付け工法	乾式吹付け工法	
		従来乾式吹付け工法	本提案する低粉塵型乾式工法
吹付け能力	0.3~0.5m ³ /h	1.0m ³ /h	0.8~1.2m ³ /h
圧送距離	最大50m	最大300m	最大500m
1層の施工厚さ	2~3cm程度	2~10cm程度	最大20~30cm程度
粉じん量	比較的少ない	比較的多い	湿式と同程度
はね返り	比較的少ない	比較的多い	従来乾式の2分の1
狭い空間での施工性	○	×	◎

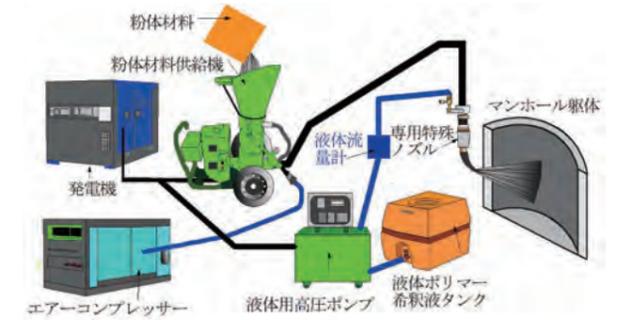


図3 低粉塵型乾式PCM吹付け工法システム



(1) 浸透性接着剤塗布



(2) 付着用接着剤塗布



(3) PCM吹付け

写真2 接着剤塗布型PCM補修工法

施工が容易となる。一方で、従来型の乾式吹付け工法には施工時の粉塵やはね返り量が多いという課題がある。また、従来のノズルではマンホール内の狭い空間で吹付けを行うことが困難であることから、本研究では新たな専用特殊ノズルを用いた狭い空間の中で吹付けが可能となる工法を採用する。

3-2. 低粉塵型乾式PCM吹付け工法システム

低粉塵型乾式PCM吹付け工法は、特殊PCMを用いた乾式吹付け工法である。低粉塵型乾式PCM吹付け工法のシステムを図3に示す。本工法では、図3に示すように粉体材料供給機に投入された粉体材料が、大型のエアコンプレッサーから送られる圧縮空気により、専用の特殊ノズルまで高速で圧送される。また、所定の倍率で希釈された専用ポリマーエマルジョン希釈液は、高圧ポンプにより特殊ノズルまで圧送される。これらの粉体と液体は専用特殊ノズル内部で瞬時に練り混ぜられPCMとなり、専用特殊ノズルをマンホールから挿入し、マンホール躯体コンクリート面におよそ200km/hの速度で補修・補強対象面に吹き付けられる。なお、本研究では狭隘部用の専用特殊ノズルを

使用することでφ800mm程度のマンホール躯体での吹き付けを可能としている。

4. 補修・補強手順

4-1. 補修・補強供試体寸法

補修・補強用のマンホール躯体の寸法は図1(1)に示した。補修・補強のマンホール躯体は基準となるマンホール躯体コンクリートが化学的侵食により、20mmを切削した寸法であり、基準マンホール躯体の20mm減、壁厚180mmである。よって、補修・補強寸法は厚さ20mmとし、補修・補強後は基準マンホールと同等な厚さ200mmとなる。

4-2. 補修技術

4-2-1. 接着剤を用いたPCM補修法

補修は、写真2に示すように基準マンホール躯体の内側が化学的侵食により20mmの断面欠損が生じた状態を考慮し、内径寸法を1,240mmとし、これを基準マンホール寸法1,200mmとするため厚さ20mmの補修が必要となる。

補修は基本マンホール供試体と同等の耐荷力性能

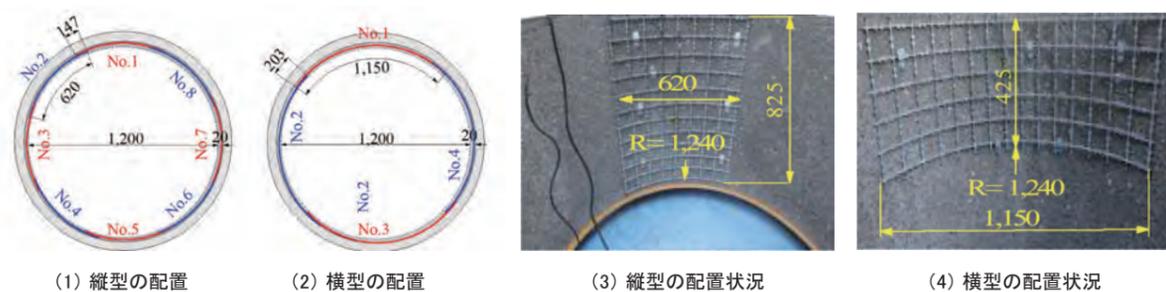


図4 グリッドメタル筋の貼り付け方法

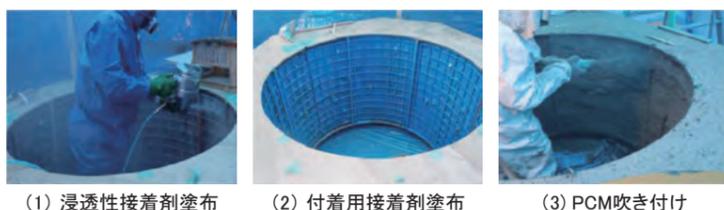


写真3 グリッドメタル筋を配置した接着剤塗布型PCM吹付け補強

を有するために新たな補修技術を提案する。よって、補修方法は、まずコンクリート表面を通常のウォータージェット処理後の表面と同様に3.0mm程度の凹凸を設ける。次に、浸透性接着剤を0.5kg/m²を吹き付けてコンクリート表面に浸透させ、ひび割れ補修やコンクリートの脆弱面に浸透させ、コンクリート表面を強固にする。同時に、化学的浸食を促進する物質の遮蔽効果が期待できると考えられる。浸透性接着剤の吹き付けには、リシガンを用いて全面に吹き付けする(写真2(1))。吹き付け後、浸透性接着剤の浸透を考慮して15分程度養生する。

さらに、PCMとの付着力を高めるために付着用接着剤0.9kg/m²をリシガンで塗布する(写真2(2))。この接着剤の効果はすでにRC床版、ボックスカルバート、RC柱の増厚工法⁵⁾に適用されており、その効果は実証されている。付着用接着剤の吹き付けと同時に、PCMの吹付け準備を行う。マンホール躯体への低粉塵型乾式PCM吹付け技術は、本研究において初めて適用する事例である。低粉塵型乾式PCM吹付け工法は図3に示した専用のマンホール専用の特殊ノズルを用いて狭い空間の中で確実に補修できる特長がある。よって、マンホールに20mm厚を補修する(写真2

(3))。最後にコテ作業により表面仕上げして養生する。2種類の接着剤の塗布およびPCM吹付け作業は2時間程度であり、施工性に優れた補修である。表面のコテ仕上げには1時間程の時間を要した。実施工においては、吹き付け表面に化学侵食を抑制するためにエポキシ樹脂製防食材が塗布されている。

4-3. 補強技術の提案

4-3-1. 縦型グリッドメタル筋と接着剤を用いたPCM補強工法

補強用のマンホール寸法は、補修用マンホールと同様であり、コンクリート表面に3mm程度の凹凸を設けた。

縦型に配置するグリッドメタル筋の寸法は、幅620mm、高さ825mmであり、マンホール躯体の高さは900mm内に設置した。曲線加工はR=1,240mmとした。グリッドメタル筋の配置方法は図4(1)に示すように、幅620mmであることから8枚必要となる。縦型グリッドメタル筋を用いた補強法は、縦型のグリッドメタル筋を直径1,240mmに併せて円形に沿って8枚設置する。設置方法は専用の金具付きコンクリートネジを用いて設置する。ここで、設置状況を図4(3)に、補強手順を写真3に示す。

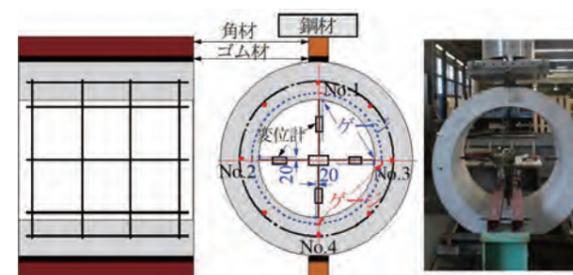


図5 補修・補強効果に関する実験

補強法はグリッドメタル筋を設置した後、浸透性接着剤を専用のリシガンを用いて補修法と同様に吹き付けにより塗布する(写真3(1))。浸透性接着剤はコンクリート表面に伸展したひび割れにも浸透することから、ひび割れ補修効果が得られる。塗布後15分ほど養生し、その後付着用接着剤をリシガンにより吹き付けする(写真3(2))。接着剤はグリッドメタル筋上面にも塗布することから、吹付け用PCMとの接着力も高まる。さらに、付着用接着剤を全面に塗布することで、この2種類の接着層により化学的浸食による劣化要因の浸透抑制にも効果が期待できると考えられる。接着剤塗布後、1層目10mmを低粉塵型乾式PCM吹付け工法で吹付け(写真3(3))、コテによりグリッドメタル筋内側にもPCMが挿入させる。その後、残りの10mmを同様の工法でPCMを吹付け、コテにより表面仕上げして完成となる(写真3(3))。なお、補修厚と同様の厚さであるが、耐荷力の向上を図るためにグリッドメタル筋を配置したことから、補強法と称した。作業時間はグリッドメタル筋の設置に約1時間要し、3時間程度で吹付けまでが終了する。実施工においては、吹き付け表面に化学侵食を抑制するためにエポキシ樹脂製防食材を塗布することから、グリッドメタル筋の腐食も抑制されることになる。

4-3-2. 横型グリッドメタル筋と接着剤を用いたPCM補強工法

横型のグリッドメタル筋は図4(2)に示すように幅1,150mm、高さ425mmである。よって、横型の貼付け手順は図4(4)に示すように、マンホールの内周に

表5 最大耐荷力および耐荷力比

供試体	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比	
C.M-N	83.8	—	—
C.M-R	88.8	1.06	—
C.M-G-L	144.3	1.72	1.63
C.M-G-S	139.6	1.67	1.57

横方向に1段目を4枚、2段面も同様に4枚配置する。マンホール躯体への設置方法は縦筋配置と同様に専用の金具付きコンクリートネジを用いて設置した。

グリッドメタル筋の設置後の補強手順は写真3に示す縦型配置の補強技術と同様である。

以上より、2種類の接着剤は本来の接着剤の効果に加え、浸透性接着剤の浸透層および付着用接着剤の効果により化学的浸食による劣化要因の浸透抑制効果として期待できると考える。また、補強法に用いたグリッドメタル筋は厚さ4.5mmであることから補強厚20mmの吹き付けにおいても対応が可能である。なお、グリッドメタル筋の厚さは設計耐荷力に併せて厚さの選定が可能である。

5. 補修・補強効果の検証

5-1. 静荷重実験方法^{2,7)}

本実験は、下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料⁷⁾の工法の要求性能に関する試験方法に基づき、JSWAS A-11²⁾に基づいて図5に示す側方曲げ試験を実施した。実験は図5に示すように供試体を水平に設置し、構造物試験機(載荷容量5,000kN)を用いてマンホール上面に100×100×900mmの角材を設置し、線荷重載荷による1軸圧縮載荷とする。荷重載荷方法は荷重を5kNずつ増加させる段階載荷とした。1サイクルの最大荷重は20kNずつ増加する。最大耐荷力は荷重の増加が見られなくなった時点の荷重値とする。



図6 建研式引張試験方法

表6 建研式引張試験による引張接着強度

供試体名称	接着剤の有無	破断荷重 (kN)	破断面積 (mm ²)	引張接着強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	破断位置
N-No.1	無	0.0	7,854	0.00	0.01	打継界面
N-No.2		0.0	7,854	0.00		打継界面
N-No.3		0.3	7,854	0.04		打継界面
A-No.1	有	9.3	7,854	1.18	1.68	既設躯体側
A-No.2		13.0	7,854	1.66		既設躯体側
A-No.3		17.3	7,854	2.20		既設躯体側

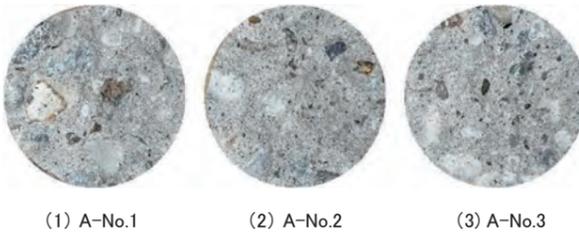


写真4 建研式引張試験による破断面の性状

出する。

$$f_r = P/A \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 f_r :引張接着強度 (N/mm²), P :破断荷重 (kN),
 A :破断面積 (mm²)

建研式引張試験を図6および破断荷重と引張接着強度を表6, 破断状況の一例を写真4示す。試験の結果、コンクリート躯体にPCMを直接吹き付けた3箇所引張接着強度は平均0.01N/mm²となり、破断面はコンクリート躯体とPCMの打継面で破断に至っている。また、破断荷重が0kNの位置はコア削孔中に破断に至った。次に、コンクリート躯体に2種類の接着剤を塗布してPCMを吹き付けた3箇所の引張接着強度は平均1.68N/mm²となり、破断面は打継面から5mmに位置したコンクリート躯体で破断に至っている。以上より、2種類の接着剤を使用することで既設コンクリートとPCM界面の付着力が向上し、破壊時まで一体性を保つことが確認された。

6. まとめ

本研究より得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 本研究で提案する低粉塵型乾式PCM吹付け工

法は、下水道マンホールのような狭い空間において有効な補修・補強法であることを示した。

- 2) 側方曲げ試験による結果より、本提案の補修・補強工法は耐荷性能の回復および向上において有効な工法である。
- 3) 建研式引張試験より、2種類の接着剤を使用することで既存コンクリートとPCM界面の引張接着強度が向上し、一体性を保ち外力作用に対して抵抗することを示した。

あとがき

本EQM工法は、阿部、鹿島道路(株)、住友大阪セメント(株)により開発され、グリッドメタル筋および施工法は阿部、JFEシビル(株)、低粉塵型乾式PCM吹付け工法は住友大阪セメント(株)の技術であ

り、これをマンホールの補修・補強技術として開発した施工法である。

【参考文献】

- 1) 日本下水道協会/下水道管路施設の点検・調査マニュアル(案), 2013
- 2) 日本下水道協会/下水道用鉄筋コンクリート製組み立てマンホール JSWAS A-11-2005, 2005
- 3) 阿部忠他/接着剤塗布型橋面コンクリート舗装法における耐疲労性の評価に関する実験研究, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.650~661, 2020
- 4) 伊藤清志他/2タイプの接着剤を塗布したRC床版の上面補修法の耐疲労性の評価および施工技術, コンクリート工学会年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2131~2136, 2017
- 5) 阿部忠他/展張格子筋を用いたボックスカルバートの補強技術および補強効果の検証, セメント・コンクリート論文集, Vol.71, pp.540~547, 201.
- 6) 吉岡泰邦他/応力履歴を与えたRC柱に展張格子筋を配置した接着剤塗布型 NSM 増厚補強法の耐荷力性能, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, pp.340~347, 2022
- 7) (公財)日本下水道新技術機構, 下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料, 2014

お知らせ

第23回 生コン技術大会 技術であける未来の扉 NEXT CONCRETE

主催：全国生コンクリート工業組合連合会

開催日：2025年4月10日(木)~11日(金)

会場：日経ホール(東京都千代田区大手町1-3-7)

JR 東京駅より徒歩15分 東京メトロ大手町駅より徒歩5分

特別公演：「インフラの更新改築とコンクリート」前川宏一氏(東京大学名誉教授)

発表論文：[特定課題1・低炭素]20編, [特定課題2・省力化・省人化]1編, [試験]7編, [舗装]2編, (セッション) [暑中]1編, [管理]4編, [物性]5編, [改善事例]1編

参加費：(論文集あり)3月31日まで/組合員8,000円(4月1日以降9,000円), 組合員外・一般10,000円(一律), (論文集なし)6,000円(一律), 郵便振込のみ

申込み：WEBサイトから申込用紙を入手の上、「振替払込請求書兼受領証」のコピーを貼付して下記まで郵送またはFAXにて送付

問合せ：全国生コンクリート工業組合連合会 企画部 技術大会係

〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-26-9 グランデビル4F

電話：03-3553-7231 FAX：03-3553-9590