

# 論文 鋼板格子筋を用いて PCM 増厚補強を施した下水用マンホールの補修・補強および界面付着効果に関する実験研究

熊谷 光記\*1・水口 和彦\*2・師橋 憲貴\*3・阿部 忠\*4

**要旨:** 本研究は、老朽化が進む下水用マンホールの補修・補強工法の開発を目的として、補修には接着剤塗布型 PCM 補修、補強には鉄筋に替わる補強筋に鋼板格子筋を用いた接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施した供試体に側方曲げ試験による静的載荷試験を実施した。また、試験後に接着剤の効果を検証するために建研式引張試験を実施した。その結果、基準となる供試体に対し 20mm 厚で補修した供試体は 1.06 倍、各種格子筋を配置して 20mm 増厚補強した供試体は 1.66~1.72 倍の補強効果が得られた。また、破壊後の建研式引張試験より、2 種類の接着剤を用いることで界面剥離は生じず一体性を有することを確認した。

**キーワード:** 下水道マンホール、鋼板格子筋、耐荷性能、補強効果、建研式引張試験

## 1. はじめに

現在、我が国の下水道普及率は 80% を超え、総延長距離は約 49 万 km に及んでいる。また、下水道施設の一つであるマンホールは 1,500 万基に達するとされている。これらの下水道管路施設は、今後 20 年程度で供用後 50 年が経過するものが急増することが予測されている<sup>1)</sup>。よって、この膨大なストックを有する下水道施設の老朽化による修繕コストの増加や管きょ劣化に伴う道路陥没などが懸念されている。

一般的にコンクリート構造物における化学的劣化として中性化、塩害作用、アルカリシリカ反応などが挙げられるが、下水道施設においては硫化水素による腐食劣化が著しいとされている<sup>2)</sup>。物理的要因としては活荷重の影響によるひび割れの発生、地震動に伴うマンホール継手部付近の損傷などが挙げられる。また、建設当時の設計荷重の変遷に伴う耐荷力不足も懸念されることから、老朽化対策および設計荷重の増加に対応するための補修・補強法の開発が急務となっている。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（以下、マンホールとする）に着目し、長寿命化が期待できる補修・補強対策について新技術を提案し、実用性を評価することを目的とした。

そこで本研究では、化学的要因により老朽化したマンホールを建設当初の耐荷性能を有する補修法および耐荷性能の向上が図れる補強法について、コンクリート製マンホールを用いて静的載荷実験を行い、耐荷性能を検証する。実験では、基準となる新設マンホール供試体、腐食劣化などによる断面欠損 20mm を考慮し、これを基準となるマンホール供試体と同厚となるように 2 種類の

接着剤とポリマーセメントモルタル（以下、PCM と称す）を用いて、吹き付け補修を行った供試体および耐荷性能の向上を図るために鉄筋に替わる新たな補強材として、一面加工した鋼板格子筋（以下、格子筋と称す）を配置した供試体を作製した。また、格子筋に関しては、現場での施工性を考慮して形状寸法の異なる 2 種類の格子筋を用いて配置した供試体を作製し、合計 4 種類の供試体に対し側方曲げ試験を実施し、耐荷性能および補修・補強効果を検証した。さらに、側方曲げ試験終了後の供試体ひび割れ付近にて、増厚界面の付着性状を評価するために建研式引張試験を実施し、接着剤の有効性について検証することで老朽化したマンホールの更生工法の一助とする。

## 2. マンホールの現状

供用後約 50 年が経過したマンホールの損傷状況の一例を図-1 に示す。

図-1(1)は、車両の活荷重の影響によりマンホールのふた直下に発生したひび割れ損傷である。マンホールに対して垂直方向にひび割れが進展しており、最大ひび割れ幅は 2mm を超えている。下水道管路施設の点検・調査マニュアル<sup>3)</sup>における判定基準によると、中程度の劣化で異常が認められる(b)ランクに該当する損傷である。図-1(2)は、マンホール全体にわたって硫化水素の影響で表面全体が腐食劣化し、骨材が露出するほど断面欠損している。

以上のように、現在供用されているマンホールの点検・調査において、腐食劣化やひび割れ損傷が数多く報告されており、これらのマンホールに対しては適切な表

\*1 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 (学生会員)

\*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工学) (正会員)

\*3 日本大学 生産工学部建築工学科教授 博士(工学) (正会員)

\*4 日本大学 名誉教授 博士(工学) (正会員)



(1) マンホール継手部の (2) 硫化水素による表面腐食  
ひび割れ損傷

図-1 マンホールの劣化損傷

面補修や耐荷性能の向上が図れる補修・補強対策を講じる必要がある。

### 3. マンホール供試体の使用材料

#### 3.1 使用材料

##### (1) コンクリートおよび鉄筋

本実験に用いたマンホール供試体には、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm~20mm の砕石 (JIS-A5005) を使用し、コンクリートの要求性能は、東京都下水道設計標準に規定される  $18\text{N/mm}^2$  を目標として配合した。また、本実験では本マンホールの補強効果の検証時に脆性的な圧壊を防止するために、その対策として壁厚中央部に SD345 D10 を用心鉄筋として配置した。ここで、コンクリートの配合条件を表-1 に示す。なお、実験時のコンクリート圧縮強度は  $22.3\text{N/mm}^2$  であった。

##### (2) ポリマーセメントモルタル

増厚補修・補強に使用するモルタルには、薄層施工が可能な PCM を用いた。本実験で使用した PCM は、下水道施設における腐食劣化が生じたマンホール等の補修材として市販されている。また、コンクリートとの付着性能が高く、吹付け施工にも適している。PCM は、吹き付け用であることから、専用のプレミックス材が使用されており、材令 3 日での圧縮強度は、東京都下水道局規格値である  $25.0\text{N/mm}^2$  以上の強度発現が可能な材料である。ここで、本実験に用いたモルタルの配合条件を表-2、材料物性値を表-3 に示す。なお、実験時の圧縮強度は供試体 3 本の平均で  $53.0\text{N/mm}^2$  であった。

##### (3) 鋼板格子筋

格子筋の製作方法を図-2 に示す。格子筋の製作方法は、一般鋼板あるいは縞鋼板を設置し、直接レーザーで格子状に切断加工する (図-2(1))。切断加工された格子筋は図-2(2)に示す形状となり、軸直角方向 (主鉄筋) および軸方向の配力筋、それぞれの断面積を任意で切断加工することが可能である。切断加工された格子筋を補強部材に合わせて曲線状に曲げ加工 (図-2(3)) することが可能で、必要に応じて防錆材を塗布して完成となる (図-2(4))。

表-1 コンクリートの示方配合

供試体	W/C (%)	単位体積重量 ( $\text{kg/m}^3$ )				
		水	セメント	粗骨材	細骨材	混和剤
M-N M-P M-GV M-GH	84.0	185	221	975	874	2.32

表-2 PCM の示方配合

項目	単位体積重量 ( $\text{kg/m}^3$ )		
	プレミックス粉体	ポリマーエマルジョン	水
PCM	1,939	106	166

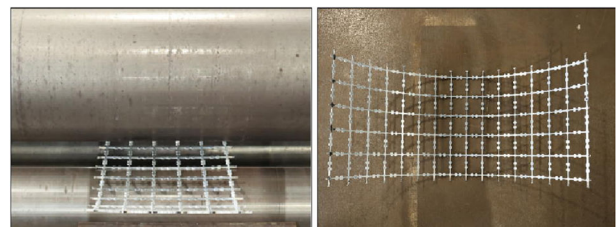
表-3 PCM の材料特性値

項目	物性値	
単位容積重量	$2,250(\text{kg/m}^3)$	
耐硫酸性	重量変化	+4.0(%)
	浸透拡散抵抗性	2.0(mm)
付着強度	$1.8(\text{N/mm}^2)$	
長さ変化率	-0.08%	



(1)レーザースリット加工

(2)格子筋



(3)折り曲げ加工

(4)折り曲げ完成

図-2 格子筋の製作方法

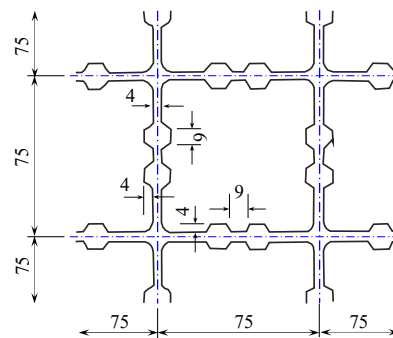


図-3 格子筋の形状寸法

以上のように、鋼板を直接レーザー加工することから鉄筋を用いた従来の加工・組み立て作業に対してプレキャスト化が図られた材料である。また、一面加工であることから断面の薄肉化が可能で死荷重の軽減が図れる。なお、格子筋は既に各種材料試験や付着試験、さらには、構造実験が実施<sup>4,5)</sup>されており、市販材料として実構造物

の補強法にも採用されている。本実験では、厚さ 4.5mm の一般鋼板を用いた。格子筋の形状は、図-3 に示すように格子間を 75mm として、格子間中央部には付着性を高めるために高さ 4mm の突起を設ける構造とした。なお、本実験ではマンホールの蓋の直径が 600mm であることを考慮し、格子筋の配置方法が耐荷性能に及ぼす影響も検証することから、格子筋の外寸は幅 600mm、高さ 825mm および幅 1,150mm、高さ 425mm の矩形形で切断した後に、マンホール内径に合わせて曲げ加工を  $R=1,240\text{mm}$  で施した 2 種類の格子筋を用いてそれぞれ補強を行った。ここで、本実験に用いた格子筋のミルシートによる材料特性値を表-4 に示す。

#### (4) 浸透性接着剤および付着用接着剤

腐食劣化したマンホール内側のコンクリート表面に増厚補強を行う場合、まずは内側内面をブレード等で衝撃を与えながら削り作業を行うのが一般的であるが、その際に既存コンクリート表面付近での微細なクラックが発生することが懸念される。そこで、本研究ではひび割れ補修用浸透性接着剤（以下、浸透性接着剤と称す）を用いた。この浸透性接着剤は、劣化したコンクリート部材の表面を強固にすることが可能で、ひび割れ幅 0.05mm までの浸透が可能な接着剤である<sup>6)</sup>。ここで、浸透性接着剤の材料特性値を表-5 に示す。

次に、既存コンクリートと PCM との界面には、付着性を高めるために高耐久型エポキシ系樹脂接着剤（以下、付着用接着剤と称す）を用いた。この接着剤は、既設コンクリートとフレッシュモルタルもしくはフレッシュコンクリートとの付着性能を高めるために開発された材料である<sup>7)</sup>。よって、本実験においても界面の付着性能を向上させることで破壊時まで一体性を確保させることを目的として使用した。ここで、付着用接着剤の材料特性値を表-5 に併記する。

#### 4. マンホール供試体の概要

本実験では、基準とする通常マンホール供試体に対して、内面20mmに形状の異なる2種類の格子筋を用いて配置法を変えた後、PCMで増厚補強した2種類の供試体を作製した。ここで、各供試体の形状寸法および概要を図-4に示す。

##### (1) 基準供試体

実験に用いる基準供試体の形状寸法は、A 政令都市下水局の下水道施設標準図を参考に、現場打 2 号マンホールを作製した。よって、供試体の寸法は、内径 1,200mm、壁厚 200 mm、外径 1,600mm、長手方向 900mm である。また、用心鉄筋として壁中心部に鉄筋 SD345 D10 を配置した。これを基準として比較検討を行う。供試体名称は M-N とする。

表-4 格子筋の材料特性

一般鋼板 SS400	降伏強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弾性係数 ( $\text{kN}/\text{mm}^2$ )
格子筋	325	559	200

表-5 接着剤の材料特性値

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤	備考	
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状	異物混入無
	硬化剤	無色液状	青色液状	異物混入無
混合比	10 : 3	5 : 1	重量比	
硬化物比重	1.20	1.42	JIS K 7112	
圧縮強さ	104.4 $\text{N}/\text{mm}^2$	102.9 $\text{N}/\text{mm}^2$	JIS K 7181	
圧縮弾性係数	3,172 $\text{N}/\text{mm}^2$	3,976 $\text{N}/\text{mm}^2$	JIS K 7181	
曲げ強さ	92.8 $\text{N}/\text{mm}^2$	41.6 $\text{N}/\text{mm}^2$	JIS K 7171	
引張せん断強さ	14.0 $\text{N}/\text{mm}^2$	14.9 $\text{N}/\text{mm}^2$	JIS K 6850	
コンクリート 付着強さ	2.6 $\text{N}/\text{mm}^2$	3.7 $\text{N}/\text{mm}^2$ 以上 または母材破壊	JIS A 6909	

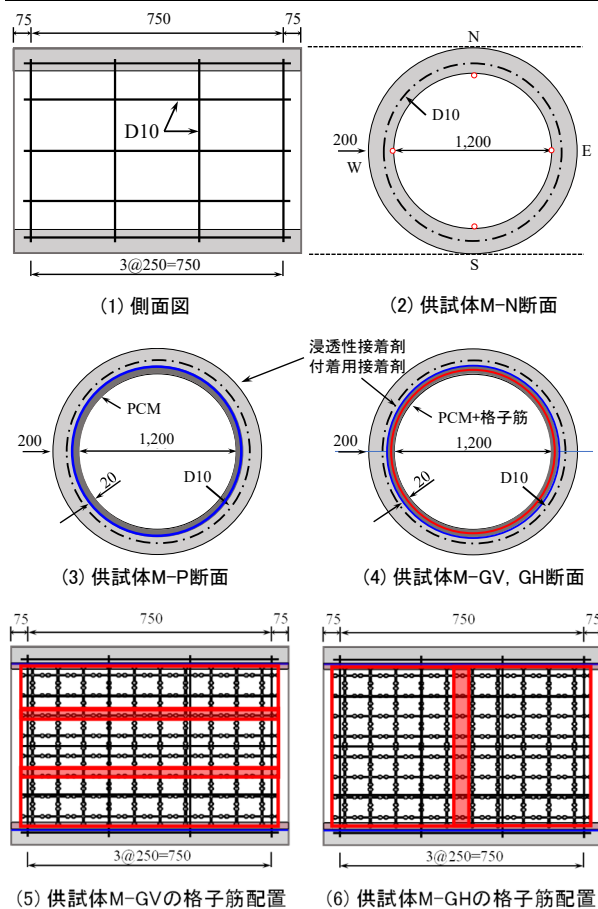


図-4 供試体形状

##### (2) 補修供試体

内面に補修を行う供試体は、壁厚、外径、長手方向の寸法は基準供試体と同一とし、化学的化等により 20mm 内面が減厚したことを想定して壁厚 160mm で作製した。補修手順としては、補修表面は耐酸性 PCM との付着性を高めるためにコンクリート表面に 3mm 程度の目荒しを設けた。その後、コンクリート表面に浸透性接着剤塗布し、微細ひび割れへの浸透を考慮して 15 分養生した後に付着用接着剤を塗布する。塗布と同時に吹き付け用モルタルである PCM の練り混ぜを開始する。接着剤

の塗布後、PCM を 20mm 吹き付け補修し、コテによる表面仕上げを行い養生する。ここで、補修を行った供試体の名称を M-P とする。

### (3) 補強供試体

マンホール内面に補強を行う供試体の寸法は、補強供試体と同様とした。

補強手順としては、PCM との付着性を高めるためにコンクリート表面に 3mm 程度の目荒らしを設けた。本実験では、幅 600mm、高さ 825mm の格子筋（供試体の名称を M-GV とする。）および幅 1,150mm、高さ 425mm の格子筋（供試体の名称を M-GH とする。）を各 8 枚使用する。格子筋は直径 1,240mm に併せてあらかじめ円形に折り曲げ加工を施した。これらの格子筋を、それぞれマンホール内側に設置する。なお、格子筋の配置方法は図-4(5)、(6)に示すとおりである。格子筋の設置は、コンクリートネジを用いて行った。設置後、浸透性接着剤を専用のリシンガンで吹き付けて塗布する。15 分後に付着用接着剤をリシンガンにより吹き付けを行う。なお、付着用接着剤は格子筋と PCM との付着力を高めることを目的として格子筋にも塗布した。接着剤塗布後、1 層目 10mm を吹き付けし、その後、残りの 10mm を吹き付け補強した後、表面仕上げを行い完成とした。

## 5. 実験方法

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<sup>7)</sup>の工法の要求性能に関する試験方法に基づき、JSWAS（日本下水道協会規格）A-11<sup>8)</sup>に定義される図-5に示す側方曲げ試験を実施した。実験では、図-5に示すように供試体を水平に設置し、上部より線荷重を載荷させる。

荷重載荷条件は 1 軸圧縮単調載荷とし、荷重載荷方法は、構造物試験機自動計測制御システム（載荷容量 5,000kN）を用いて、荷重を 5kN ずつ増加させる段階載荷とした。また、荷重 25kN 増加ごとに荷重を 0kN に除荷させる包絡荷重として繰返し荷重を載荷した。

## 6. 結果および考察

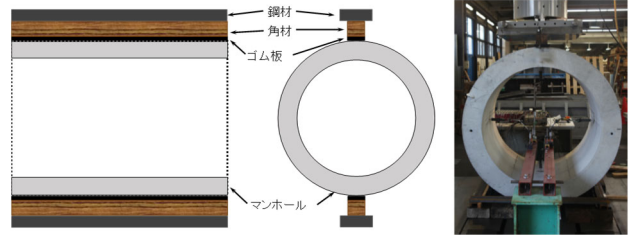


図-5 実験方法および状況

表-6 耐力および耐力比

供試体	最大載荷荷重 (kN)	耐力 (kN/m)	耐力比
M-N	75.4	83.8	—
M-P	79.9	88.8	1.06
M-GV	129.9	144.3	1.72
M-GH	125.6	139.6	1.66

※耐力 = 最大載荷荷重 / 0.9

### 6.1 実験耐力

実験より得られた各供試体の最大耐力を表-6に示す。なお、表中に示す耐力は、本実験に用いた供試体の長さは 0.9m であるが、これを 1m 当たりに換算したもので評価する。

表-6より、供試体 M-N の耐力は 83.8kN/m であった。これを基準に耐力の比較検討を行う。

供試体 M-N と同一の壁厚とし、内面 20mm を PCM で増厚補修した供試体 M-P の耐力は、88.8 kN/m で供試体 M-N とほぼ比較すると 1.06 倍で同等の耐力が得られている。

次に、2 種類の接着剤および内面 20mm に形状の異なる 2 種類の格子筋をそれぞれ配置して PCM で増厚補修し、供試体 M-N と同一の壁厚とした供試体 M-GV、M-GH の耐力は、それぞれ 144.3kN/m、139.6kN/m であった。供試体 M-N と比較すると 1.72 倍、1.66 倍の補強効果が得られており、格子筋を配置することで大幅な耐力の向上が認められた。また、格子筋形状の違いによる耐力を比較すると供試体 M-GV との比較では、0.96 倍と若干下回ってはいるがほぼ同等の補強効果が得られている。

以上より、本提案の格子筋を用いた増厚補強は、耐荷

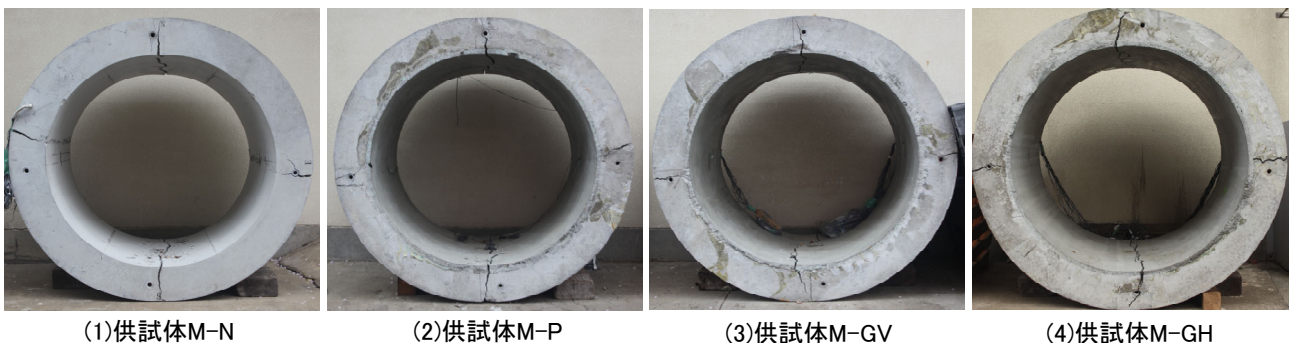


図-6 破壊状況

性能の向上を図る更生工法として有効であると考えられる。また、本実験の範囲内においては格子筋の配置法が耐荷性能に及ぼす影響はないものと判断できる。

## 6.2 破壊状況

各供試体の破壊状況を図-6に示す。

供試体 M-N の破壊状況は図-6(1)より、供試体の上部、下部では最大荷重载荷である 75kN 付近までひび割れは認められず、最大荷重载荷時に供試体内面よりひび割れが発生し、荷重の抜けが生じた。その後の荷重増加でひび割れは鉛直方向に進展し最終的には貫通に至った。側面も同様に、最大荷重载荷まではひび割れは認められず、最大荷重作用時に側面の外側にひび割れが発生し、その後の荷重载荷で水平方向へのひび割れの進展がみられた。最終的には、マンホール内部にて圧壊が生じた。

供試体 M-P の破壊状況は図-7(2)より、供試体の上部、下部は最大荷重载荷 80kN 付近で上部、下部同時にひび割れが発生し、荷重の抜けが生じた。その後の荷重载荷でひび割れは鉛直方向に進展し、破壊に至った。側面のひび割れについては、供試体 M-N と同様の傾向を示し破壊に至っている。なお、増厚界面での離れは、破壊時においても認められないことから、浸透性接着剤および付着用接着剤により界面の付着が良好で破壊時まで一体性が保たれていたものと判断できる。

供試体 M-GV の破壊状況は図-7(2)より、供試体の上部、下部は荷重 115kN 付近で初期ひび割れが発生したが、供試体 M-N に比してひび割れ長さは短く、PCM 層内であった。これは、PCM 内に配置した格子筋によるものである。その後の荷重増加に伴いひび割れは徐々に進展し、破壊に至った。また、側面のひび割れは、上部、下部同様に荷重 115kN 付近で初期ひび割れが発生したが、供試体 M-N に比してひび割れ長さは短いものであった。その後の荷重増加でひび割れは水平方向に進展し破壊に至った。なお、側面においては破壊時においても既存コンクリート部までのひび割れ進展となっている。また、破壊時においても既存コンクリート部と PCM との界面での離れは見られなかったことから、2種類の接着剤を使用することで界面の付着性が高まり破壊時まで一体性が保たれていたものと推測される。

供試体 M-GH の破壊状況は図-7(3)より、供試体の上部、下部は荷重 125kN 載荷後の荷重除荷中である 120kN 付近でひび割れが発生し、その後は供試体 M-GV 同様の挙動を示した。また、側面のひび割れは上部・下部同様に荷重除荷中の 120kN 付近で発生した。その後の荷重増加に伴い水平方向へ進展し破壊に至ったが、PCM 層への進展は認められなかった。また、供試体 M-GV との比較では、ほぼ同様のひび割れ形状を呈しており、格子筋の配置の違いが破壊形状に与える影響は認められない。

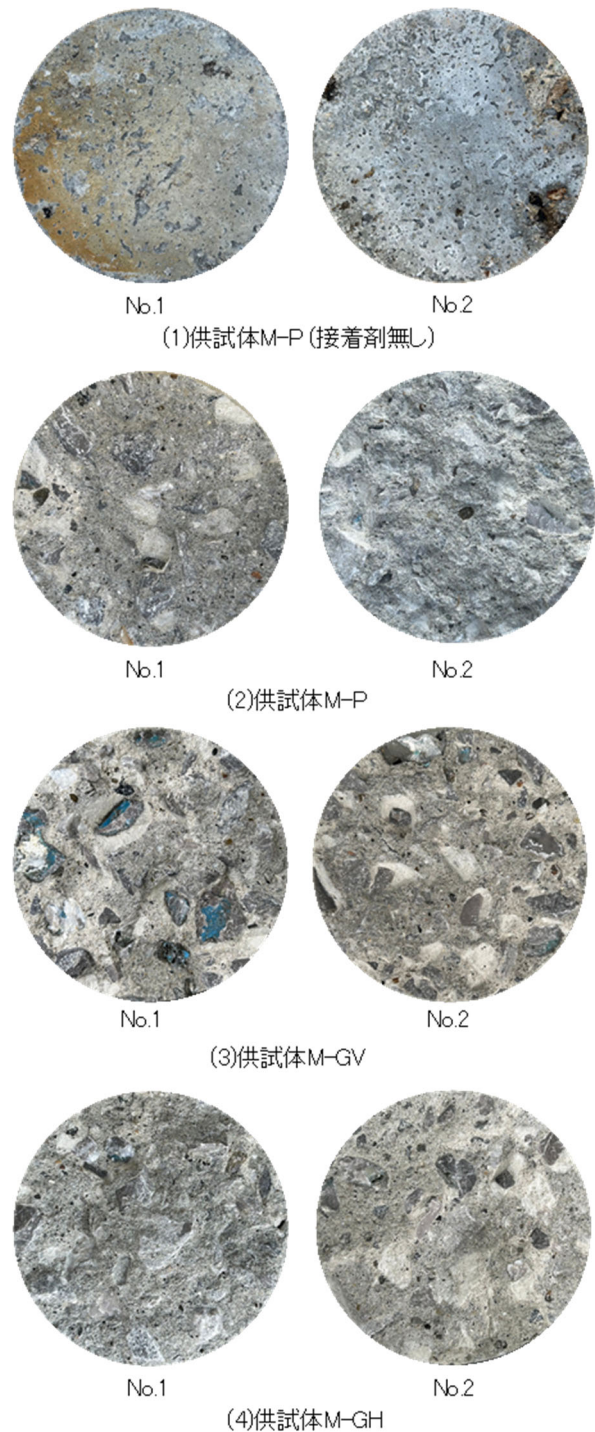


図-7 破断面の状況

## 6.3 増厚界面の付着強度

マンホール躯体と PCM の付着性能の検証として建研式引張試験を実施する。補修・補強として PCM を吹き付けたコンクリート躯体の上面にφ100mmの電動コアドリルを設置して、コンクリート躯体側まで切込みを入れる。その後、コア上面に付着用接着剤を塗布して鋼製治具を圧着させ、養生後試験を実施する。建研式引張試験は荷重速度 1.0N/mm<sup>2</sup>/sec で実施し、引張接着強度は式(1)より算定する。検証には、各供試体のひび割れ発生箇所近傍を2箇所選定し実施した。また、接着剤の有無に

よる影響を検証するために、マンホール躯体に PCM を直接吹き付けした試験体を作製し、供試体名称は M-P\_NA とする。

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

ここで、 $f_r$ : 引張接着強度 (N/mm<sup>2</sup>)、P: 破断荷重 (kN)、A: 破断面積 (mm<sup>2</sup>)

建研式引張試験における破断荷重と引張接着強度を表-7、破断状況を図-7に示す。建研式引張試験の検証はコンクリート躯体に PCM を直接吹き付けた 2 箇所、2 種類の接着剤を塗布して PCM を吹き付けた 2 箇所とする。

マンホール躯体に PCM を直接吹き付けした供試体 M-P\_NA\_No.1-2 の引張接着強度は、平均で 0.02 N/mm<sup>2</sup> となり、増厚界面での付着はほぼ得られておらず、破断面はマンホール躯体と PCM の打ち継ぎ面で破壊している(図-7(1))。

次に、マンホール躯体と PCM との間に 2 種類の接着剤を使用した供試体 M-P、供試体 M-GV、供試体 M-GH の平均引張接着強度は、それぞれ 1.78 N/mm<sup>2</sup>、1.95 N/mm<sup>2</sup>、1.92 N/mm<sup>2</sup> となった。これは、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル<sup>9)</sup>に規定される接着強度の平均値 1.50 N/mm<sup>2</sup> 以上を満足するものである。また、各供試体ともに破断面は母材コンクリート側で破壊している(図-7(2)~(4)) ことから、2 種類の接着剤を使用することで増厚界面の付着が良好で一体性をもって外力に抵抗したものと考えられる。

## 7. まとめ

本実験では、2 種類の接着剤および格子筋を用いてマンホール内面を 20mm 減厚した供試体に増厚補修・補強を行い静的載荷による側方曲げ試験を実施し、補強効果および界面付着について検証を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 耐荷性能について、基準供試体に対して PCM で同一厚さに補修を行った供試体 M-P の耐荷力は 1.06 倍となり同等の耐荷力性能が得られた。また、同一厚さで増厚内に格子筋を配置して増厚補強を施した供試体 M-GV、GH との耐荷力の比較では、それぞれ 1.72 倍、1.66 倍となり、格子筋を挿入することで大幅に耐荷性能が向上する結果が得られた。
- (2) 破壊状況より、全ての供試体において同様のひび割れ形状を示しており、最終的に供試体の上下部の内面側、側面は左右の外側に発生したひび割れが進展し、破壊に至った。また、補修・補強供試体ともに破壊時においても界面ではなく離れは認められないことから 2 種類の接着剤を併用することで一体性が確保

表-7 建研式引張試験による引張接着強度

供試体	破断荷重 (kN)	引張接着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	破断位置
M-P_NA_No.1	0.0	0.00	0.02	打ち継ぎ界面
M-P_NA_No.2	0.3	0.04		打ち継ぎ界面
M-P_No.1	14.2	1.81	1.78	母材コンクリート
M-P_No.2	13.7	1.74		母材コンクリート
M-GV_No.1	13.7	1.74	1.95	母材コンクリート
M-GV_No.2	16.9	2.15		母材コンクリート
M-GH_No.1	16.6	2.11	1.92	母材コンクリート
M-GH_No.2	13.6	1.73		母材コンクリート

できる。

- (3) 格子筋の配置法の違いによる補強効果の影響について、本実験の範囲内においては耐荷性能および破壊状況には大きな差異は認められなかったことから、実施工においては施工条件に応じて配置法を使い分けて使用することが可能である。
- (4) 本提案の接着剤塗布型 PCM 補修法および格子筋を用いた接着剤塗布型 PCM 補強法は、十分な耐荷性能を有しており、マンホールの更生工法の一つとして実用性があるものと評価できる。

## 参考文献

- 1) (公社)日本下水道協会 HP: 都道府県別の下水処理人口普及率, 2023.4
- 2) 中本至: 下水道施設におけるコンクリート構造物の化学的劣化, 土木学会論文集 No.42/V-20, pp.1-11, 1993.8
- 3) 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), 2013.6
- 4) 新田裕之, 阿部忠, 師橋憲貴, 塩田啓介: 損傷を受けたボックスカルバートの補修・補強技術の提案および耐荷力性能の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1213-1218, 2018.10
- 5) 吉岡泰邦, 阿部忠, 水口和彦, 野口博之: 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, 2022.3
- 6) 伊藤清志, 阿部忠: 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术, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2131-2136, 2017.7
- 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, 2014.12
- 8) 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, 2005.4
- 9) (一社)下水道事業支援センター, 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル, 2017.12