

# 論文 下水道マンホールの接着剤塗布型PCM補修およびメタルグリッド筋を配置した補強技術における静的耐荷力および破壊状況

阿部 忠<sup>\*1</sup>・熊谷 光記<sup>\*2</sup>・水口 和彦<sup>\*3</sup>・佐藤 克己<sup>\*4</sup>

**要旨:** 本研究はマンホールの劣化に伴う補修・補強効果について静荷重実験を実施した。実験供試体には基準供試体および化学的浸食による断面欠損 20mm のマンホールを元の厚さまで接着剤塗布型 PCM 補修した補修供試体, さらに 20mm 層内に厚さ 4.5mm の格子筋を配置して PCM 補強した供試体の 3 体を用いた。補修・補強法では 2 種類のエポキシ系接着剤を塗布した。その結果, 基本供試体に対して補修供試体は 1.06 倍, 補強供試体が 1.72 倍の耐荷力が得られた。また, たわみの計測では上・下面は負, 両側面は正の変形により, 破壊は全て圧縮破壊した。よって, 本提案するマンホールの補修・補強法は実用的であると評価できる。

**キーワード:** マンホール, 補修技術, 補強技術, 静的実験, 耐荷力

## 1. はじめに

現在, 我が国の下水道普及率は 2021 年現在で 80% を超え, 約 49 万 km に及んでいる<sup>1)</sup>。その内, 50 年が経過する下水道は約 3.0 万 km となっており, 経年劣化した下水道施設が年々増加している。また, 膨大なストック量を有する下水道, とくにマンホール躯体部の直壁内部(以下, マンホールとする)のコンクリートは中性化(以下, 化学的浸食とする)などによる経年劣化による損傷や地震動による損傷も多く発生している<sup>2)</sup>。さらに, 50 年が経過するマンホールは, 設計荷重の改定に伴い, 現行基準に対する耐荷力の不足も生じている。これらのマンホールの延命化を図るためには経年劣化対策, 維持更新の計画的な施策, さらにマンホールの延命化を図るための補修・補強技術の開発が急務となっている<sup>3)</sup>。

そこで本研究では, 経年劣化したマンホールを建設当初の機能を得るための補修法および耐荷力の向上を図るための補強法についての新技术を提案する。実験では, 無補強のマンホール供試体(以下, 基準供試体とする)と補修・補強厚 20mm を本提案する補修・補強法を施したそれぞれのマンホール供試体を用いて静荷重実験を行った。補修・補強効果については, JSWAS(日本下水道協会規格) A-11<sup>4)</sup>に示される新設時の耐荷力を基準に検証し, マンホールの補修・補強法による更生工法の一助としたい。

## 2. マンホールの損傷状況

1965 年代に建設された下水道のコンクリート製マンホールはコンクリート内に化学的浸食による鉄筋の腐食, 耐荷力性能不足によるひび割れ発生などの経年劣化が進



(1) 鉄筋の腐食 (2) ひび割れと腐食 (3) ひび割れ  
写真-1 下水道マンホールの直壁の損傷状況

行している。ここで, マンホール直壁内部の損傷状況を写真-1に示す。写真-1(1)は鉄筋が露出し, 既に断面欠損が生じ, コンクリート表面には化学的浸食が進行している。次に, 写真-1(2)は縦ひび割れの発生や鉄筋は発錆による断面欠損も生じている。写真-1(1)と同様に化学的浸食も著しい。写真-1(3)はひび割れ幅 3.0mm のひび割れが縦方向に発生している。

以上のように, 経年劣化や化学的浸食の進行したマンホールは鉄筋の腐食, 断面欠損, さらに側圧や地震動によるひび割れも発生している。よって, 直壁内のコンクリートの表面補修法や耐荷力の低下に伴い補強筋を配置した補強法などの対策が必要となる。

## 3. マンホール供試体の材料および供試体寸法

### 3.1 基準供試体の形状寸法

実験に用いる供試体の形状および寸法は, A 政令都市下水道局の下水道施設標準図に準拠した現場打ちの下水道 2 号マンホールを作製した。ここで, 供試体寸法を図-1(1)に示す。図-1(1)より, 供試体の寸法は, 内径 1,200mm, 壁厚 200mm, 外径 1,600mm, 高さ 900mm である。これを基準供試体とし, 名称を C.M-N とする。

\*1 日本大学 名誉教授 博士(工)(正会員)

\*2 日本大学 生産工学研究科土木工学専攻博士後期課程(学生会員)

\*3 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工)(正会員)

\*4 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工)

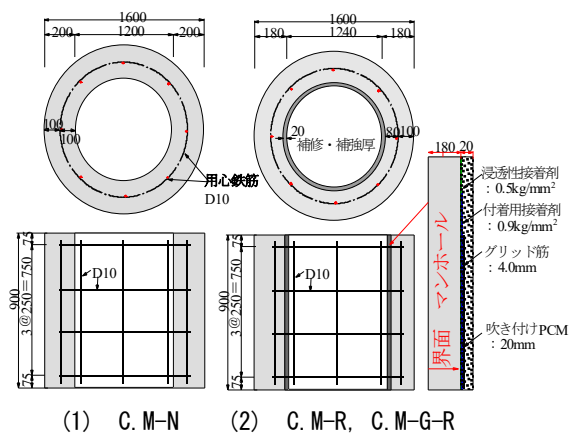


図-1 供試体寸法

表-1 マンホールコンクリートの配合条件

供試体	W/C (%)	単位体積重量(kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	粗骨材	細骨材	混和剤
C.M-N, C.M-R, C.M-G-R	84.0	185	221	975	874	2.32

表-2 接着剤の性能

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
	硬化剤	無色液状	青色液状
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 N/mm <sup>2</sup>	102.9 N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,172 N/mm <sup>2</sup>	3,976 N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7181
曲げ強さ	92.8 N/mm <sup>2</sup>	41.6 N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7171
引張せん断強さ	14.0 N/mm <sup>2</sup>	14.9 N/mm <sup>2</sup>	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	2.6 N/mm <sup>2</sup>	3.7 N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS A 6909

表-3 補修材PCMの配合条件

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

### 3.2 補修・補強用供試体の形状寸法

補修・補強用供試体は、化学的浸食により20mmの断面欠損を考慮し、壁厚を180mmとした。ここで、補修・補強用供試体寸法を図-1(2)に示す。供試体寸法は、内径1,240mm、壁厚180mm、外径1,600mm、高さ900mmである。補修用の供試体名称をC.M-R、補強用をC.M-G-Rとする。

### 3.3 供試体コンクリートおよび鉄筋

現在、経年劣化により、補修・補強対策が必要とされているマンホールは建設後50年以上が経過している。そこで、実験供試体にはその当時のマンホールに準拠してコンクリートの圧縮強度目標を18N/mm<sup>2</sup>とした。そこで、供試体コンクリート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)を用いた。配合条件を表-1に示す。また、本供試体は実験中に脆性的な圧壊により、破壊状況の確認が出来なく、また危険性があることからコンクリート表面から100mmの位置にSD345 D10の用心鉄筋を配置した。ここで、マンホール躯体の配合条件を表-1に示す。実験時の圧縮強度は22.3N/mm<sup>2</sup>である。

### 3.4 マンホール供試体の補修・補強材料

補修・補強用供試体は基準供試体C.M-N(図-1(1))の内部が損傷により、20mmを切削した場合の供試体(図-1(2))である。よって、補修・補強厚を20mmとし、補修・補強後は基準供試体と同様に壁厚200mmとする。よって、本提案する補修法に用いる材料は2種類の接着剤とPCM、補強法に用いる材料は補強筋であるメタルグリッド筋<sup>5)</sup>(以下、グリッド筋とする)、2種類の接着剤とPCMである。

#### (1) 浸透性接着剤・付着用接着剤

補修には、2種類の接着剤<sup>6)</sup>とマンホールの補修材として一般的に市販されているPCMを用いる。

一般的に経年劣化したマンホールのコンクリートには、経年劣化により0.2mm以上のひび割れが発生している場

合が多い。このコンクリート表面のひび割れ補修や表面を強固にするために、エポキシ系の浸透性接着剤を用いる<sup>6)</sup>。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。次に、吹き付け用の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-2に示す。なお、両接着剤とコンクリートとの付着性能はそれぞれ2.6N/mm<sup>2</sup>、3.7N/mm<sup>2</sup>以上の結果が得られている。

#### (2) 吹き付け用PCM

本実験供試体は20mm厚をPCMで補修する。ここで、本供試体に用いたPCMの配合条件を表-3に示す。PCMの物性値は耐流酸性における重量変化は+4.0(%)、浸透拡散抵抗性は2.0mm、付着強度は1.8N/mm<sup>2</sup>である。PCMはプレミックス材料であり、材齢28日で圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>以上が発現する。実験時の圧縮強度は53.0N/mm<sup>2</sup>である。

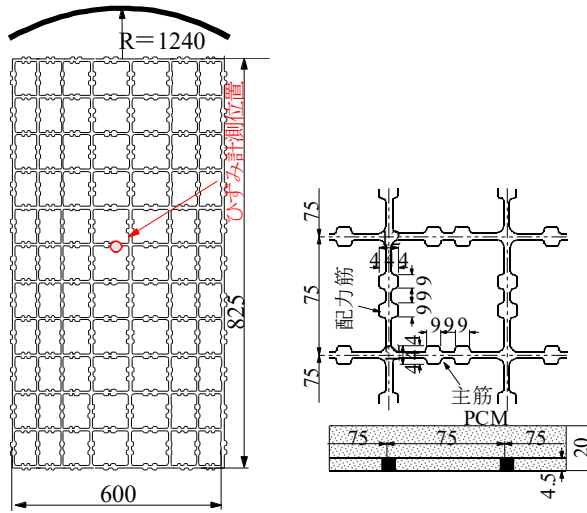
#### (3) メタルグリッド筋

一般的に、マンホールの補強法の場合は補強筋として異形鉄筋が用いられている。鉄筋を用いた補強法は、鉄筋を格子状に組み立てることから鉄筋径の2倍、さらに継手部は4倍の厚さに補強厚が加わる。これらのことから吉岡ら<sup>5)</sup>は、縞鋼板あるいは一般鋼板を用いてレーザーで格子状に切断加工した鉄筋に替わるグリッド筋を開発した。マンホールの補強材として用いた場合と鉄筋を用いた場合の厚さ比較するとグリッド筋は1方向分の厚さ、継手部では2方向分の厚さとなり、補強厚が減少する。RC床版の下面増厚補強では、厚さ6mmグリッド筋を用いてPCMを26mm厚で補強した実績がある。

設置においてはマンホールの鉄蓋の直径が600mmで

表-4 グリッド筋の材料特性値

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



(1) グリッドメタル筋 (2) 格子間寸法

図-2 グリッドメタル筋の寸法

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。ここで、本供試体に用いるグリッド筋の加工寸法を図-2、材料特性値を表-4に示す。本供試体に用いるグリッド筋の厚さは 4.5mm、格子間 75mm、幅 600mm、高さ 825mm、R = 1,240mm に円形に加工した。

#### 4. 接着剤塗布型PCM補修および接着剤塗布型PCM補強技術

##### 4.1 補修技術

###### (1) 補修技術の提案

本提案する補修技術は、マンホールコンクリートが経年劣化により 20mm の断面欠損が生じた状態での補修である。従来の補修法は、劣化部を厚さ 20mm 切削して、PCM を吹き付け補修していたが、打ち継ぎ界面ではく離が懸念される。そこで、基本供試体と同等以上の耐荷力性能を更正させるため新たな補修技術である。

補修断面は図-1(2)に示すように、切削面の表面に、浸透性接着剤を 0.5kg/m<sup>2</sup> を塗布する。なお、浸透性接着剤の吹き付けには、リシガンあるいはハケを用いて全

面に塗布し、15分程養生する。次に、PCM との付着力を高めるために付着用接着剤 0.9kg/m<sup>2</sup> を塗布する。この量の効果は既に RC 床版、ボックスカルバート<sup>4)</sup>でも使用され、施工実績がある。付着用接着剤の塗布と同時に、PCM の吹き付け準備を行う。20mm 厚の補修の場合は一層目 10mm 吹き付け補修し、残り 2 層目を 10mm 吹き付けし、表面仕上げして養生する。

###### (2) 実験供試体の補修状況

実験用マンホール供試体の補修状況を写真-2に示す。まず、コンクリート表面に浸透性接着剤を塗布し、浸透時間 15 分程考慮し養生し (写真-2(1))、付着用接着剤を塗布する (写真-2(2))。付着用接着剤の硬化時間は 60 分程度であることから、塗布と同時に補修用 PCM の吹き付け準備を行う (写真-2(3))。塗布終了後、1 層目を 10mm 程度、残り 10mm を吹き付け補修して、表面仕上げする (写真-2(4))。

#### 4.2 接着剤とグリッド筋を用いたPCM補強技術

###### (1) 補強技術の提案

本提案する補強技術は、50 年が経過するマンホールを現行の設計基準に対応するために補修法と同様に 20mm 厚とした、耐荷力の向上を図るための補強技術である。ここで補強断面の概略を図-1(2)に示す。

従来の補強法は、鉄筋あるいはメッシュ筋を配置して、PCM 吹き付けする工法が一般的であった。しかし、この補強法は、界面のはく離や鉄筋を格子状に配置した場合、断面が厚くなり、内腔断面の減少が懸念される。そこで、図-1(2)に示すように、耐荷力の向上を図るために厚さ 4.5mm、格子間 75mm のグリッド筋 (図-2) を配置する。また、補強界面のはく離を抑制するために、本提案した補修法と同様に浸透性接着剤と付着用接着剤を用いる。グリッド筋の幅はマンホールの幅 600mm から搬入が可能となる寸法に円形に加工する。補強法は、加工したグリッド筋を内側に貼り付けし、その後、2 種類の接着剤を塗布する。塗布後、直ちに PCM を吹き付けし、表面仕上げし、養生する。

###### (2) 実験供試体の補強状況

実験試験体の補強状況を写真-3に示す。供試体には直径 1,240mm に併せて円形に折り曲げ加工した幅 600mm、



(1) 浸透性接着剤塗布 (2) 付着用接着剤塗布 (3) PCM吹き付け (4) 表面仕上げ・完成

写真-2 2種類の接着剤を用いた補修法



(1) グリッド筋設置 (2) 浸透性接着剤塗布 (3) 付着用接着剤塗布 (4) PCM1層目吹き付け

写真-3 2種類の接着剤およびグリッド筋用いた補強法

高さ 800mm のグリッド筋 8 枚を用いて、コンクリートネジで設置する (写真-3(1))。設置後、浸透性接着剤を塗布 (写真-3(2))、15 分後に付着用接着剤を塗布する (写真-3(3))。接着剤はグリッド筋上面にも塗布することから、PCM との接着力も高まる。接着剤塗布後、PCM を吹き付け補強し (写真-3(4))、表面仕上げして完成となる。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筋を配置したことから補強となる。

以上より、本提案する補修・補強法は 2 体実施したが、表面の切削作業除いて、6 時間程度で完了した。

## 5. 静荷重実験方法<sup>4), 7)</sup>

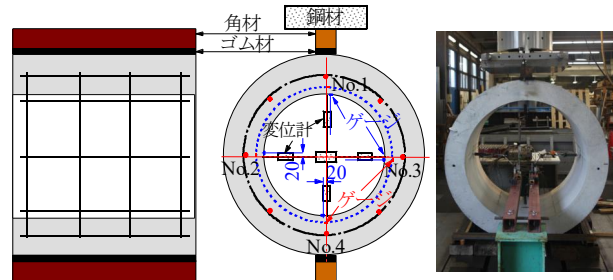
本実験は、下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料<sup>4)</sup>の工法の要求性能に関する試験方法に基づき、JSWAS A-11<sup>7)</sup>に基づいて図-3に示す側方曲げ試験を実施した。実験は図-3に示すように供試体を水平に設置し、構造物試験機(載荷容量 5,000kN)を用いてマンホール上面に 100×100×900mm の角材を設置し、線荷重載荷による 1 軸圧縮載荷とする。荷重載荷方法は荷重を 5kN ずつ増加させる段階載荷とした。最大耐荷力は荷重の増加が見られなくなった時点の荷重値とする。計測は、各計測点のたわみ、同位置のコンクリート、グリッド帯筋のひずみとする (図-3)。

## 6. 結果および考察

### 6.1 実験耐荷力

各供試体の最大耐荷力および耐荷力比を表-5に示す。表-5より、基準供試体 C.M-N の最大耐荷力は 83.8kN であり、この最大耐荷力を基準に補修・補強した供試体の最大耐荷力と比較して補修・補強効果を検証する。補修供試体 C.M-R の最大耐荷力は 88.8kN である。基準供試体 C.M-N の最大耐荷力の 1.06 倍であり、補修による耐荷力としては基準供試体を上回っている。よって、JSWAS A-11 の基準を満足する結果となった。これは、2 種類の接着剤の効果により、破壊時まで界面が一体化され、かつ PCM の圧縮高度が基準供試体の 2.37 倍の強度であるために耐荷力の向上が図られたものと考えられる。

次に、補強供試体 C.M-G-R の最大耐荷力は 144.3kN



(1) 荷重載荷および計測位置 (2) 実験状況

図-3 静的耐荷実験

表-5 静的耐荷力および耐荷力比

供試体	静的耐荷力 (kN)	耐荷力比	
C.M-N	83.8	—	—
C.M-R	88.8	1.06	—
C.M-G-R	144.3	1.72	1.63

であり、基準供試体 C.M-N の最大耐荷力の 1.72 倍、補修供試体 C.M-R の 1.63 倍の耐荷力が向上した。これは、グリッド筋を配置したことによる効果である。よって、経年劣化により 20mm 減厚した場合においても、厚さ 20mm 内にグリッド筋の配置が可能であり、耐荷力が向上する結果となった。よって、設計耐荷力不足や鉄筋の腐食による断面欠損が生じた場合、さらには地震動による損傷を受けたマンホールの補強法として、実用性が評価できる結果となった。

### 6.2 たわみと荷重の関係

たわみの計測点を図-3(1)に示した供試体の中央の上を No.1、下を No.4、横方向の計測点の左を No.2、右を No.3 とする。ここで、各計測点のたわみと荷重の関係を図-4に示す。

基準供試体 C.M-N の No.1 のたわみと荷重の関係は、荷重が 55kN で-4.9mm である。荷重 80kN 付近から急激に増加し、最大耐荷力 83.8kN で-31.1mm である。次に、No.2, 3 のたわみも同様な増加傾向を示し、荷重 80kN 付近から急激に増加し、最大耐荷力時で 25.3mm, 23.4mm である。No.4 のたわみは-0.8mm 程度である。破壊時の内面変形は内径 1,200mm に対して 1,168mm, 左右は 1,248mm である。

次に、補修供試体 C.M-R の No.1 は荷重 71kN 付近で 3.9mm であり供試体 C.M-N に比べて-3.0mm 減少してい

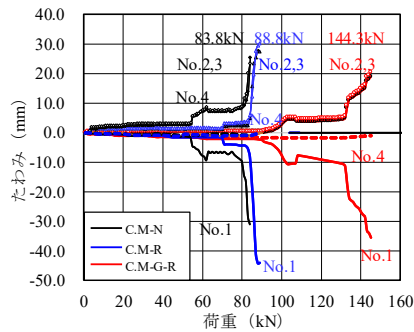


図-4 たわみと荷重の関係

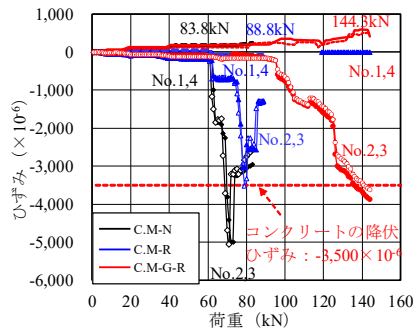


図-5 ひずみと荷重の関係

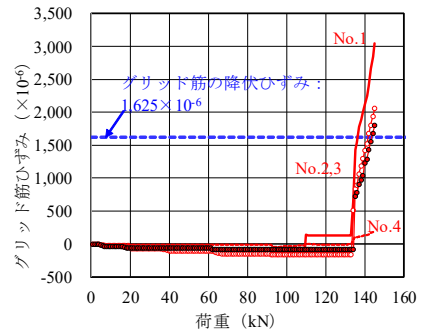


図-6 グリッド筋のひずみと荷重

る。最大耐荷力 88.8kN で-44.3mm である。左右の No.2, 3 は荷重 83kN 付近から急激に増加している。最大耐荷力 88.8kN 時のたわみは左右でそれぞれ、27.5mm, 30.0mm である。No.4 のたわみは-0.3mm 程度である。縦方向の変形量は 1,200mm に対して 1,156mm, 左右は 1,257mm であり、供試体 C.M-N 比べて僅かに減少している。

以上より、基準供試体 C.M-N と補修供試体 C.M-R を比較すると 2 種類の接着剤の効果にり破壊時まで界面が一体化され、PCM の圧縮強度が高いことにより、たわみの増加が抑制されたと推測される。よって、本提案する補修材を用いた補修法は、十分に実用的な補修技術であると考えられる。

また、補強供試体 C.M-G-R の No.1 は荷重 91kN からやや増加し始め、耐荷力 105kN で-10.5mm である。耐荷力 130kN から急激に増加し、最大耐荷力 142.9kN で-35.5mm, No.2, 3 のたわみも同様な増加傾向を示し、最大耐荷力 142.9kN 時の左右のたわみは 18.9mm, 20.3mm, No.4 のたわみは-1.0mm 程度である。縦方向の変形量は 1,200mm に対して 1,164mm, 左右は 1,239mm であり、供試体 C.M-N および C.M-R と比べて変形量が小さい。これはグリッド筋の効果により各計測点のたわみの増加が抑制された結果である。

以上より、グリッド筋を配置することで、各計測点のたわみの増加が抑制され、耐荷力が大幅に増加した。よって、20mm 程度の薄層補修法には本提案補修・補強法を施すことでたわみの増加が抑制され、実用的な補修技術である結果が得られた。

### 6.3 計測点のコンクリートひずみと荷重の関係

マンホール内側のコンクリートのひずみと荷重の関係を図-5に示す。計測位置はたわみと荷重の関係と同様である。基準供試体 C.M-N の No.1 と 4 のコンクリートひずみの増加傾向はほぼ同様であり、最大耐荷力時のひずみはそれぞれ  $217 \times 10^{-6}$ ,  $239 \times 10^{-6}$  である。また、No.2 は荷重 61kN 付近から急激に増加し、降伏ひずみ  $-3,500 \times 10^{-6}$  に達した荷重は 67kN である。荷重 72kN 時

で  $-4,998 \times 10^{-6}$  であり、その後、急激に減少し、最大耐荷力時では  $2,957 \times 10^{-6}$  まで減少し、破壊した。No.3 も同様に荷重 61kN 付近から急激に増加し、荷重 71kN で最大ひずみ  $-5,060 \times 10^{-6}$  で、その後急激に減少している。最大耐荷力時では  $-2,628 \times 10^{-6}$  まで減少した。次に、補修供試体 C.M-R の No.1, 4 は、ほぼ同様の増加傾向を示しており、荷重 62kN 付近までは  $49 \times 10^{-6}$ 、荷重 63kN から  $-60 \times 10^{-6}$  と負のひずみに移行し、最大耐荷力時で  $-65 \times 10^{-6}$  である。No.2 のコンクリートひずみは、荷重 62kN で  $-216 \times 10^{-6}$ 、その後急激に増加し、降伏ひずみ  $-3,500 \times 10^{-6}$  に達した荷重は 72kN である。荷重 78kN で  $-3,037 \times 10^{-6}$ 、その後、最大耐荷力時で  $-1,325 \times 10^{-6}$  まで減少している。No.3 は、荷重 74kN 時まではほぼ同様の増加傾向を示し、荷重 79kN 時で  $3,527 \times 10^{-6}$  で、その後の荷重増加から急激に減少している。基準供試体 C.M-N のコンクリートひずみと補修供試体 C.M-R のコンクリートひずみの増加傾向を比較すると補修層 20mm に圧縮強度の高い PCM およびコンクリート表面浸透層の強度増加、付着用接着剤の効果により、急激なひずみの増加は見られるものの最大ひずみはそれぞれ 30%, 40%の減少が見られた。

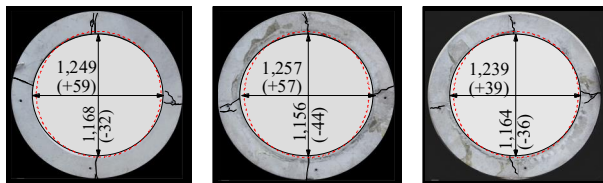
また、補強供試体 C.M-G-R の No.1, 4 はほぼ同様の増加傾向を示し、最大耐荷力時でそれぞれ  $-144 \times 10^{-6}$ ,  $-143 \times 10^{-6}$  である。No. 2, 3 のひずみは荷重 112kN でそれぞれ  $1,330 \times 10^{-6}$ ,  $-1,205 \times 10^{-6}$  であり、降伏ひずみ  $-3,500 \times 10^{-6}$  に達した荷重は 137kN である。最大耐荷力時で、それぞれ  $3,876 \times 10^{-6}$ ,  $-3,607 \times 10^{-6}$  である。

基準供試体 C.M-N および補強供試体 C.M-M-R のコンクリートのひずみの増加傾向を No.2, 3 を比較すると、グリッド筋を配置したことで、急激なひずみの増加も見られず最大荷重時まで徐々に増加している。

### 6.4 グリッド筋の帯筋ひずみと荷重の関係

グリッド筋の帯筋のひずみと荷重の関係を図-6に示す。各計測点は図-3(1)に示す断面位置である。また、グリッド筋の降伏ひずみは、材料特性値より  $1,625 \times 10^{-6}$  であり、これを図-6に併記した。

No.1 の帯筋のひずみと荷重の関係は、荷重 109kN 付



(1) C.M-N (2) C.M-R (3) C.M-G.R

図-7 破壊状況および変位

近までは圧縮ひずみであったが、荷重 110kN 時のひずみは  $130 \times 10^{-6}$  となっており、荷重 130kN 付近から急激に増加している。降伏ひずみに達した荷重は 136kN である。最大荷重 144.3kN 時のひずみは  $3,049 \times 10^{-6}$  である。

次に、No. 2, 3 のひずみは荷重 80kN 付近で、それぞれ  $-80 \times 10^{-6}$ 、 $-157 \times 10^{-6}$  であり、その後の荷重増加から急激に増加している。降伏ひずみに達した荷重は No. 2, 3 でそれぞれ 139kN, 141kN で、最大荷重時で  $2,062 \times 10^{-6}$ 、 $1,804 \times 10^{-6}$  である。

以上より、図-2に示す寸法でグリッド筋を加工し、厚さ 20mm 厚で PCM 吹き付け補強した結果、グリッド筋の帯筋のひずみ挙動から、荷重に対しグリッド筋は引張応力を分担し、これによってたわみの増加が抑制され、耐荷力が向上する結果となった。

### 6.5 破壊状況

各供試体の破壊状況を図-7に示す。基準供試体 C.M-N の破壊のひび割れ状況は図-7(1)より、供試体の上、下部は荷重 80kN 付近までひび割れの発生は見られず、その後の荷重増加からひび割れは内側から外側に伸展している。側面は最大荷重 80kN 付近から、外側から内側に向かってひび割れが伸展している。破壊時のひび割れは、断面 4 方向およびその側面に発生し、曲げ圧縮による圧壊となった。

補修供試体 C.M-R の破壊時のひび割れ状況は、図-7(2)に示すように、ひび割れの発生位置は基準供試体 C.M-N と同様の位置である。ひび割れは、補修供試体 C.M-R の破壊荷重 83kN 直前に発生した。上下は内側から外側、左右は外側から内側に発生している。また、断面方向のひび割れ位置の側面には、水平ひび割れが発生している。なお、既存コンクリートと PCM との界面は、浸透性接着剤および付着用接着剤により破壊時においても一体性が確保され、はく離は見られない。また、4 方向以外のひび割れの発生は見られない。

補強供試体 C.M-G.R の破壊のひび割れ状況は図-7(3)に示すように、荷重 125kN 付近からひび割れが発生した。上下、左右のひび割れ状況は、基準供試体 C.M-N および補修供試体 C.M-R と比較してグリッド筋の効果により貫通ひび割れは見られない。その後の荷重増加でひび割れが垂直・水平方向に進展し破壊に至った。なお、

4 方向以外のひび割れの発生は見られない。

以上より、破壊時においては基準供試体 C.M-N および補修供試体 C.M-R は各ひび割れ発生位置でひび割れは貫通するものの補強供試体 C.M-MG.R は、グリッド筋の効果により計測点 3 点に貫通ひび割れは見られない。

### 7. まとめ

- (1) 基準供試体 C.M-N の最大耐荷力に対して 2 種類の接着剤を塗布し、PCM で補修を行った供試体の耐荷力は 1.06 倍である。また、グリッド筋を配置した補強供試体 C.M-G.R の耐荷力は 1.72 倍となり、4.5mm 厚のグリッド筋を配置することで大幅に耐荷力が向上する結果となった。よって、本提案するマンホールの補修・補強法は耐荷力の回復および向上において実用的である結果が得られた。
- (2) 荷重とたわみの関係においては、基準供試体 C.M-N のたわみの増加傾向に対して、本提案する補修法を施すことでたわみの増加が抑制される結果となった。また、グリッド筋および 2 種類の接着剤を用いて補強した供試体はグリッド筋の効果により、たわみの増加が抑制され、耐荷力が大幅に向上した。
- (3) コンクリートひずみの増加において、補修・補強した供試体はともにひずみの増加が抑制されている。また、破壊状況においては、全ての供試体において最終的に供試体の上部・下部は内側からひび割れが発生し、左右はマンホールの外側から発生し、曲げ圧縮破壊となった。補修・補強供試体ともに 2 種類の接着剤の効果により破壊時のはく離は見られない。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 HP：管路施設の年度別管理延長，2022。
- 2) 国土交通省 HP：下水道の維持管理「ストックマネジメントの推進」，2023。
- 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。
- 4) (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。
- 5) 吉岡泰邦，阿部忠，師橋憲貴，塩田啓介：展張格子鋼板筋を用いた RC ボックスカルパートの増厚補強効果に関する実大載荷実験による検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.1183-1188，2017.7
- 6) 新田裕之，水口和彦，阿部忠，塩田啓介：格子鋼板筋を配置した MGC 床版の耐荷力および耐疲労性の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.2，pp.361-366，2018.7
- 7) 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。