

1-2-3 耐震化を考慮した無筋蓋掛け管きよの再構築手法の検討

計画調整部 技術開発課 萩原 徹
 (現 施設管理部 管路管理課)
 東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 田淵宗一郎
 (現 西部第二下水道事務所 お客さまサービス課)
 東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 堀口 陽子
 田中 健一
 日本工営株式会社 中央研究所 中村ゆかり

1. はじめに

東京都下水道局では、将来にわたり安定的に下水を流す機能を確保するため、老朽化した下水道管きよの再構築を計画的に推進している。幹線再構築については、昭和30年代以前に建設された老朽47幹線や調査に基づき対策が必要な幹線、布設後50年以上経過した幹線、旧水路を利用した蓋掛け幹線等、約300kmを対象に順次整備を進めている。

このうち、旧水路を利用した蓋掛け幹線は、既存の水路の側壁に頂版を載せたものであるが、側壁や底版が無筋コンクリートとなっているものも多い。無筋コンクリートを含む構造では、鉄筋がないためひび割れを抑制することができず、ひび割れが発生した時点で「曲げ耐力なし(破壊)」となってしまう。下水道管きよに要求される耐震性能(表1)では、レベル1地震動では、地震後も補修なしで機能を保持する性能が求められるため、ひび割れや鉄筋降伏は許容されない。一方、レベル2地震動では、せん断破壊せず、応答変位が終局変位内であれば、ひび割れや鉄筋降伏が許容される。このため、無筋コンクリートを含む管きよをレベル2地震動に対応させることは困難であると考えられる。

このような背景を踏まえ、無筋コンクリートを含む管きよをレベル2地震動に対応させるための耐震化手法を検討した。

表1 下水道管きよに要求される耐震性能

設計対象 地震動	要求される耐震性能	
	「下水道施設の耐震対策指針と解説」 -2014年版-(社)日本下水道協会	「コンクリート標準示方書」 -2017年制定-(社)土木学会
レベル1 地震動	耐震性能1/設計流下能力の確保	耐震性能1
	流量計算書に記載された当該管きよの設計流下能力を確保できる状態。	地震後も機能は健全で、補修を必要としないで使用可能。 地震後の構造物の残留変位が十分に小さい範囲。 →ひび割れが発生しない。 →鉄筋が降伏しない。
レベル2 地震動	耐震性能2/流下能力の確保	耐震性能2
	設計流下能力の確保が困難となっても補修や布設替等の対策を講じるまでの間は、管路として下水を上流から下流に流せる状態。	地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない。 地震後も構造部の耐力が低下しない。 →応答変位が終局変位内。 →せん断破壊しない。

2. SPR工法を活用した手法の検討

東京都下水道局では、現在、鉄筋コンクリートの管きよに対しては、主に製管工法の一つであるSPR工法で再構築を実施している。SPR工法とは、既設管の内側に塩ビ製のプロファイルを螺旋状に製管し、既設管とプロファイルの間に特殊な裏込め材を充填する工法で、既設管と更生材が構造的に一体となり、新管と同等以上の耐荷力が確保できるものである。プロファイルにはスチール補強材入りのものもあり、引張材としての機能が期

待できる（図1）。既設管と比べると流下断面は小さくなるが、プロファイルの粗度係数が小さいため既設管と同等の流量を確保できること、下水道供用下でも施工可能なこと、必要な強度に応じて裏込め材（表2）を選択できることが特長である。

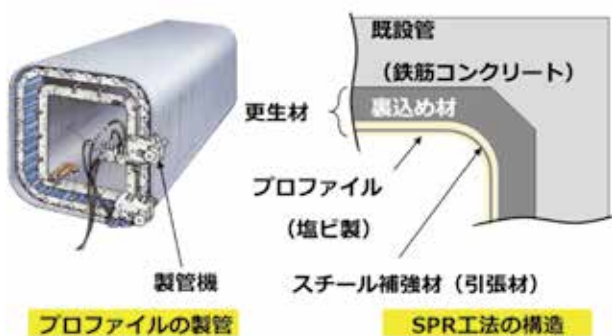


図1 SPR工法の概要

表2 SPR工法における裏込め材

名称	SPR2号 モルタル	SPR3号 モルタル	SPR4号 モルタル
圧縮強度	21.0N/mm ²	35.0N/mm ²	55.0N/mm ²
比重	1.3kg/L以上	2.1kg/L以上	2.0kg/L以上
フロー値	250±40mm	315±65mm	325±45mm
主な特長	<ul style="list-style-type: none"> 硬化後の耐久性に優れ、安定した強度 既設管との付着力が高い ブリージングがなく、硬化後の体積収縮もない 水中でも拡散せず、水を押し出しながら細部充填可 		

しかし、無筋蓋掛け管きよにSPR工法を適用しても、スチール補強材が管きよの内側にあるため、その効果が発揮されるのは正曲げ（内側が引張）の場合に限られる。地震時には正曲げ・負曲げが時々刻々と変化するため、管きよの外側から破壊が生じればひび割れは断面を貫通し、コンクリート部材としては成り立たない（図2）。そこで、SPR工法に補強部材を組み合わせることで、レベル2地震動への対応を図ることとした。

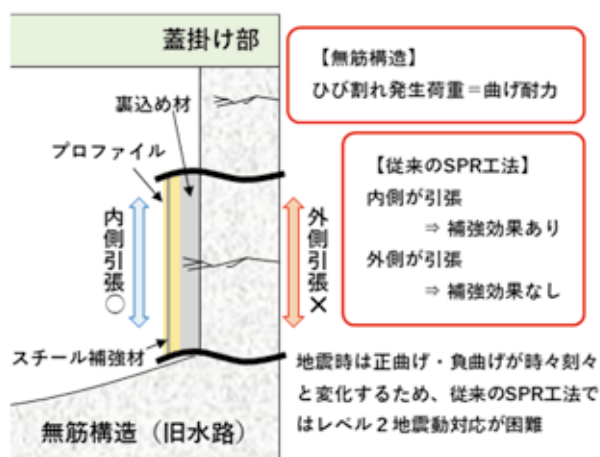


図2 無筋蓋掛け管きよ

3. 検討手順

本検討は4段階で実施した。

第1段階では予備検討として補強材料の選定を行った。資料収集や材料メーカーへのヒアリングによる比較検討で候補となりうる材料を複数選定した後に、非線形動的解析を用いた試算により、候補となる材料を決定した。

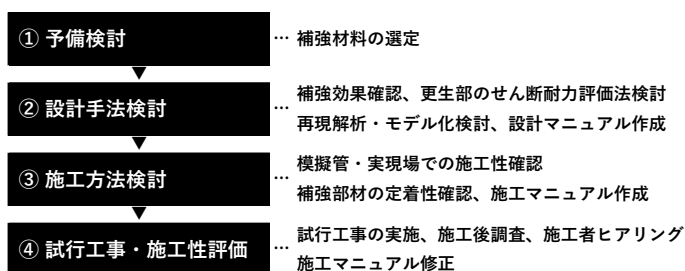


図3 検討内容

第2段階では設計手法の検討として、梁供試体を用いた曲げ試験、更生部のせん断耐力の評価方法の検討、再現解析とモデル化の検討を行い、設計マニュアルを整備した。

第3段階では施工方法の検討として、模擬管や実現場での施工性確認により施工方法を検討し、施工マニュアルを整備した。

第4段階では試行工事を行い、施工後の調査や施工者へのヒアリングを通じて施工性の評価を行った。

各段階における具体的な検討内容を図3に示す。

4. 補強材料の選定

4.1. 補強材料の比較検討

S P R工法と組み合わせることができる補強材料に関して、既設管に設置する引張の補強材（以下「補強材・補強鋼材」という。）と、耐震効果を高めるための高強度の裏込め材（以下「補強裏込め材」という。）の選定を行った。選定にあたっては、施工後の流下断面の縮小を極力抑えること、下水道供用下でも問題なく施工できること、補強材・補強鋼材と補強裏込め材の付着性能に問題がないことを踏まえ、資料収集および材料メーカーへのヒアリングを行い、候補となる材料を比較検討した。

比較検討の結果、補強材・補強鋼材は2種類、補強裏込め材は4種類を選定した。選定した材料名および選定理由を表3に示す。

表3 選定した補強材料

補強部材	補強材料	選定理由
補強材 補強鋼材	鉄筋（異形棒鋼）	一般的な建設材料として使用されており、下水道環境下での施工実績もある
	FRPグリッド	各種試験により補強効果が確認されており、下水道処理施設や管路での補修工法としての実績もある
補強 裏込め材	S P R 3号モルタル	東京都で使用されているSPRモルタルで最も強度が高く、一般モルタルよりも下水環境下での施工性に優れる
	S P R 4号モルタル	圧縮強度や引張強度が高く、東京都での実績はないが、他自治体ではSPRモルタルとしての施工実績もある
	無収縮モルタル	無収縮モルタルの標準製品であるが、引張強度も高く、下水環境下での施工にも問題のない材料である
	樹脂モルタル	引張強度、せん断強度が高く、価格も安価である

4.2. 既設幹線断面を用いた補強部材による設計断面の試算

選定した補強材料を用いて再構築を行った場合の試算を、非線形動的解析を用いて実施し、レベル1およびレベル2地震動の要求性能を満足する断面を算定した。

試算に使用する断面は、詳細条件（断面形状や構造条件など）が明らかである必要があるため、これまでに再構築設計で検討の実績がある幹線の無筋蓋掛けきよの中から、元浅草幹線の断面（図4）を選定した。解析ケース

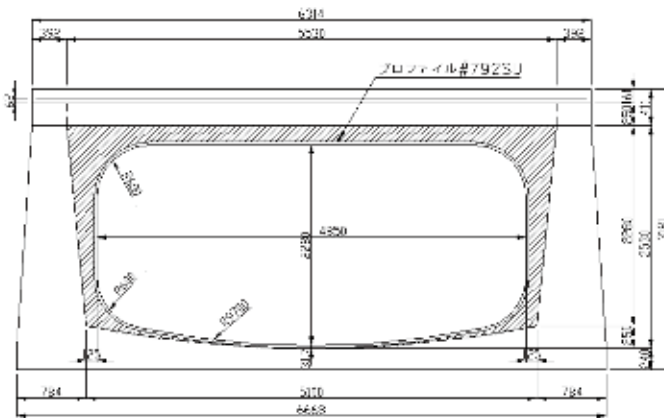


図4 元浅草幹線の断面

表4 解析ケース

ケースNo.	補強材・補強鋼材	補強裏込め材
1	(スチール補強材のみ)	S P R 3号モルタル
2	(スチール補強材のみ)	S P R 4号モルタル
3	(スチール補強材のみ)	無収縮モルタル
4	(スチール補強材のみ)	樹脂モルタル
5	鉄筋（異形棒鋼）（+スチール補強材）	No.1~4の結果、有効と判断された補強裏込め材
6	FRPグリッド（+スチール補強材）	

を表 4 に示す。

ケースNo. 1～4 の試算の結果、SPR 3号モルタルと樹脂モルタルは、補強裏込め材としての効果は小さかった。一方、SPR 4号モルタル（以下「4号モルタル」という。）と無収縮モルタルは、無筋部材のひび割れを完全には防ぐことはできないものの、発生を遅らせる効果が確認された。この結果より、4号モルタルと無収縮モルタルが有効な補強裏込め材であると判断した（表 5）。

ケースNo. 5および6については、どちらの補強裏込め材も材料強度およびひび割れ抑制効果が同等であることから、これまでのSPR工法における使用実績を踏まえ、4号モルタルを用いて試算を行った。試算の結果、どちらのケースもレベル2地震動の要求性能を満足することから、更生厚が小さく、断面縮小を極力小さくすることが可能なFRPグリッド（以下「グリッド」という。）を補強材・補強鋼材として選定した（表 6）。

表 5 設計断面の試算結果による補強裏込め材の選定結果

補強裏込め材	設計断面の試算結果	選定結果
SPR3号モルタル	無筋部材でひび割れが発生し、その後引張ひずみが3%以上となり、地震動作用後1.64秒後に破壊した	×
SPR4号モルタル	無筋部材のひび割れ発生タイミングを遅らせる効果はあり（無収縮モルタルと同程度）	○
無収縮モルタル	無筋部材のひび割れ発生タイミングを遅らせる効果はあり（SPR4号と同程度）	○
樹脂モルタル	SPR3号モルタルに次いで既設管のひび割れ発生状況や損傷状態が厳しかった	×

表 6 設計断面の試算結果による補強材・補強鋼材の選定結果

補強材・補強鋼材	補強裏込め材	設計断面の試算結果					選定理由	選定結果
		内径(mm)	更生厚(mm)			流量率		
			頂版	側壁	底版			
鉄筋（異形棒鋼） （+スチール補強材）	SPR4号モルタル	4730×2160	278.3	185	91.7	130%	FRPグリッドを使用した断面よりも断面縮小が大きい	×
FRPグリッド （+スチール補強材）	SPR4号モルタル	4810×2240	238.3	145	51.7	140%	鉄筋を使用した断面よりも断面縮小が小さい	○

5. 設計手法の検討

5.1. 補強効果の確認

補強裏込め材とグリッドの付着性能や耐荷力を確認するために、梁供試体を用いた耐荷力試験を実施した。試験は、曲げ試験機を用いて、下面2点支持で上面2点集中荷重による4点曲げ荷重により実施した（図 5）。梁供試体にはひずみゲージや変位計を設置し、荷重時に測定した。地震時は、図 6 に示すように、躯体のどちら側に引張力が加わるか不明なため、コンクリート面、プロファイル面の両面に荷重を行った。

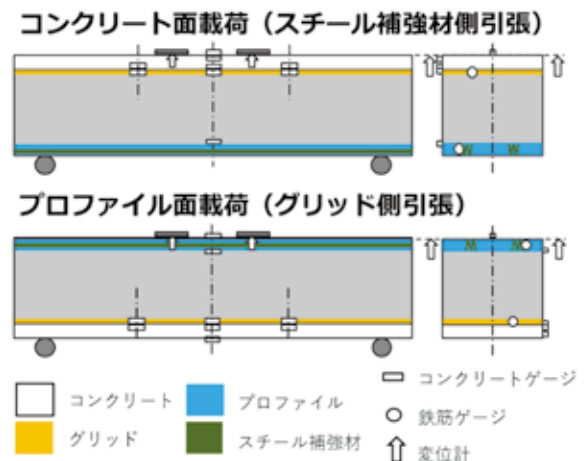


図 5 梁供試体試験概要図

まず、設計断面の試算により選定した2つの補強裏込め材から1つを選定するため、表7に示すケースで試験を実施した（梁供試体試験その1）。その結果、4号モルタルと無収縮モルタルではひび割れ発生荷重はほぼ同程度で、付着性能も問題はなかった。このため、これまでの施工実績を考慮し、4号モルタルを選定した。

次に、4号モルタルとグリッドによる組合せに関して、グリッドの挿入効果、筋断面積の違いによる効果や重ね合わせによる効果等を確認するため、表8に示すケースで試験を実施した（梁供試体試験その2）。試験の実施状況写真と載荷後の供試体の状況を図7に示す。

試験の結果、グリッドの挿入効果は、グリッドなしと比較してコンクリート面載荷で最大1.4倍、プロファイル面載荷で最大4.6倍に最大荷重が増大しており、グリッドが引張側であるプロファイル面載荷でその効果が大きく現れた。筋断面積の違い及び重ね合わせの効果に関しては、重ね枚数に関係なく、グリッドの総筋断面積に応じた補強効果を確認した。また、付着性能良好であった。

この試験により、グリッドを挿入することで、総筋断面積に応じた補強効果があることが確認できた。

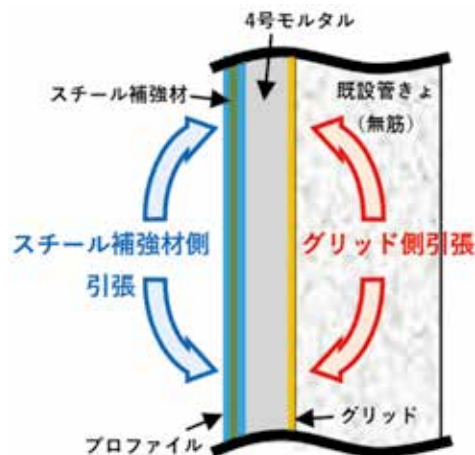


図6 地震時の状況

表7 梁供試体試験その1における試験ケースと結果

供試体 No.	補強裏込め材		FRPグリッド				※ 載荷面	供試体数	平均値	
	材料	厚さ (mm)	筋番 (筋断面積)	重ね枚数	総筋断面積 (mm ²)	格子間隔 (mm)			ひび割れ発生荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
1	SPR4号モルタル	170	なし				C	2	37.1	90.1
2	SPR4号モルタル	170	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	C	2	38.9	83.1
3	無収縮モルタル	170	なし				C	2	44.8	89.7
4	無収縮モルタル	170	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	C	2	43.8	100.3

※載荷面における「C」はコンクリート面載荷

表8 梁供試体試験その2における試験ケースと結果

供試体 No.	SPR4号モルタル	FRPグリッド				※ 載荷面	供試体数	平均値	
	厚さ (mm)	筋番 (筋断面積)	重ね枚数	総筋断面積 (mm ²)	格子間隔 (mm)			ひび割れ発生荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
5	170	なし				P	1	51.9	69.4
6	170	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	P	2	50.9	245.9
7	170	CR5 (13.2)	2	26.4	50×50	C	2	74.7	115.0
						P	2	55.4	258.8
8	170	CR6 (17.5)	1	17.5	50×50	C	2	71.2	111.1
						P	2	55.4	168.7
9	170	CR5 (13.2)	3	39.6	50×50	C	2	48.4	131.1
						P	2	58.2	318.4
10	120	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	C	2	38.5	103.1
						P	2	47.3	202.7
11	100	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	C	2	22.8	83.8
						P	2	27.7	122.7
12	170	なし				C	1	52.6	91.1
13	170	CR8 (26.4)	1	26.4	50×50	C	1	63.1	100.3

※載荷面における「C」はコンクリート面載荷、「P」はプロファイル面載荷

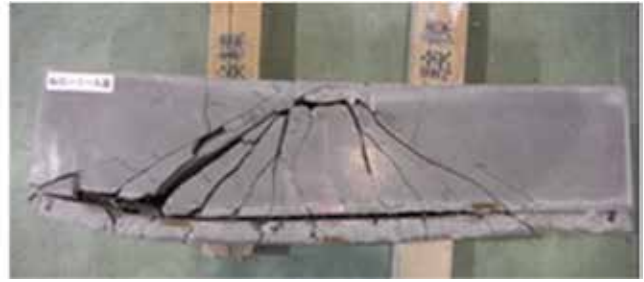
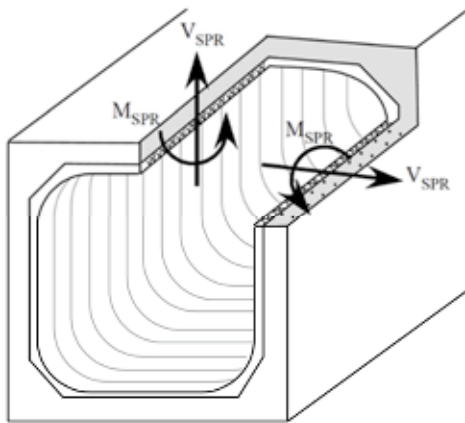


図7 試験実施状況（左）と载荷後の供試体状況（右）

5.2. 更生部のせん断耐力評価法の検討

梁供試体試験の結果を踏まえ、更生部のせん断耐力評価法を検討した。

通常のSPR工法における地震時解析で用いる更生部のせん断耐力の値は、スチール補強材を引張側鋼材として、更生部材の静的せん断破壊試験（一面せん断試験）から得られたせん断強度に基づき、独自に構築したSPR更生部材のせん断耐力式（図8）で算出している。



$$V_{spr} = \sigma_{spr} H$$

$$V_d = V_{spr} / \gamma_m / \gamma_b$$

V_{spr} : SPR更生部材のせん断耐力（更生部寄与分）

V_d : SPR更生断面のせん断耐力

σ_{spr} : SPR更生部材のせん断強度

H : SPR更生部材の厚さ

γ_b : 1.3（部材係数） γ_m : 1.3（材料係数）

「SPR更生部材のせん断耐力評価法の構築（H19.3）」
（東京都下水道サービス局、橋水化学工業㈱、足立建設工業㈱）より

図8 SPR更生部材のせん断耐力式¹⁾

しかし、地震時は図6のようにスチール補強材側とグリッド側のどちらが引張側になるか不明である。よって、断面力照査を安全側に行うため、グリッド挿入効果が小さかったコンクリート面載荷（スチール補強材側引張）での耐力を適用する必要がある。コンクリート面載荷での耐力（最大荷重）は、4号モルタルとスチール補強材によるものであることから、これまで使用してきたSPR更生部材のせん断耐力式を適用することとし、計算結果と試験結果の比較を行ったところ、全てのケースで計算結果が試験結果を下回り、安全側で評価が可能であり（表9）、既存式がそのまま適用可能であることを確認した。

表9 耐荷力試験結果と計算結果の比較

SPR4号 モルタル 厚さ(mm)	FRPグリッド			最大荷重 平均値(a)	せん断耐力(kN) 計算結果(Vd) (Vd/a)
	筋番 (筋断面積)	重ね 枚数	総筋断面積 (mm ²)		
170	CR5 (13.2)	2	105.6	115.0	96.6 (0.84)
170	CR6 (17.5)	1	70.0	111.1	96.6 (0.87)
170	CR5 (13.2)	3	158.4	131.1	96.6 (0.74)
120	CR8 (26.4)	1	105.6	103.1	68.2 (0.66)
100	CR8 (26.4)	1	105.6	83.8	56.8 (0.68)
170	—	—	0.0	91.1	96.6
170	CR8 (26.4)	1	105.6	100.3	96.6 (0.96)

5.3. 再現解析とモデル化

梁供試体試験の結果から、4号モルタルとグリッドを組合せることで補強効果があることが確認された。そこで、本補強工法の設計手法を確立するために、試験結果に対する再現解析を行い、試験結果と解析結果の比較を行うことで、補強後断面の断面力算定に用いるモデル化の検討を行った。

本検討では、通常のSPR工法における地震時解析でも使用しているUC-win/WCOMDを用いて非線形解析を実施することとした。再現解析では、グリッドのモデル化について検討を行うためにプロファイル面載荷のケースを中心としたが、コンクリート面載荷も供試体高さ200mmと150mmの2種類について検討を行った。

解析モデルは、構造物と荷重条件の対称性を考慮して1/2モデルとし、グリッド挿入層の厚さは、最低のかぶり厚さや施工性を考慮して、全ケース20mmとした。

解析の結果、図9のようにグリッド挿入層の筋ピッチ50mmの位置の奥行き方向（紫枠）に5割、その他に1割（緑枠）の弾性要素を挿入することで、試験時に見られたひび割れの分散や斜め方向のひび割れの発生、耐荷力を再現できることを確認した。解析ケースと解析結果および試験平均値の比較を表10に示す。

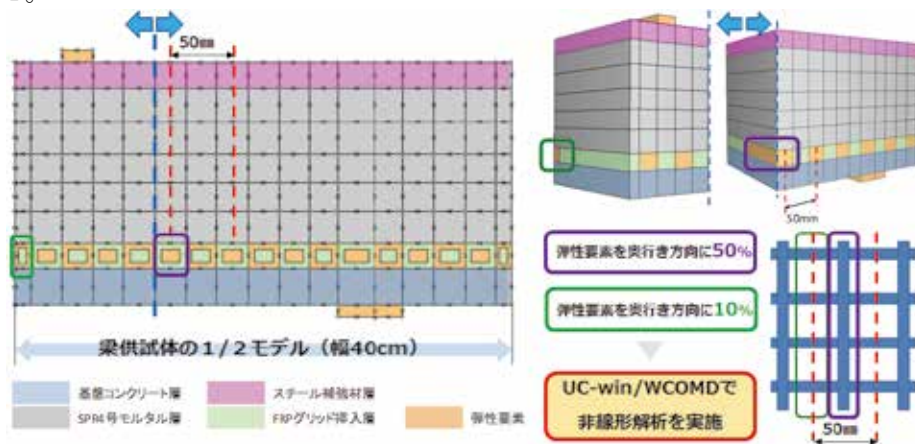


図9 モデル化イメージ

表10 解析ケースと解析結果および試験平均値の比較

載荷面	ケース No.	供試体高さ (mm)	スチール補強材 (mm ²)	FRPグリッド総筋断面積 (mm ²)	荷重 (kN)			
					試験値		解析値 (比率)	
					ひび割れ	破壊	ひび割れ	破壊
P	P-1	200	145.4	—	51.9	69.4	48.0(0.92)	70.0(1.01)
	P-2	200		105.6	50.9	245.9	52.0(1.02)	224.0(0.91)
	P-3	200		70.0	55.4	168.7	52.0(0.94)	174.0(1.03)
	P-4	200		158.4	58.2	318.4	52.0(0.89)	228.0(0.72)
	P-5	150		105.6	47.3	202.7	35.4(0.75)	183.4(0.91)
	P-6	130		105.6	27.7	122.7	30.0(1.08)	118.0(0.96)
C	C-1	200		105.6	63.1	100.3	62.0(0.98)	100.0(1.00)
	C-2	150		105.6	38.5	103.1	46.0(1.19)	84.0(0.81)

※載荷面における「C」はコンクリート面載荷、「P」はプロファイル面載荷

5.4. 設計マニュアルの作成

設計マニュアルの作成は、通常のSPR工法で使用している「中大口径SPR工法設計マニュアル(案)」に、無筋蓋掛け幹線の耐震化に関する項目を改訂する形で行った。主な改訂内容を表11に示す。

表11 設計マニュアルの主な改定内容

項目	内容
総説	用語の定義
設計・解析	更生断面の設計
	常時解析の基本事項
	地震時解析に用いる手法

6. 施工方法の検討

6.1. 施工性の検討

グリッドの設置可否、プロファイル製管の可否、4号モルタル充填の可否と充填結果等を確認するため、模擬管と実現場で実際に施工を実施した。

模擬管を用いた検討では、鋼製管を既設管に見立て、グリッドの設置後に製管作業、充填作業といったSPR施工の一連作業を実施し、実施の可否や留意点等の確認を行った。また、充填後のグリッド格子内のモルタルの充填状況も合わせて確認した。実現場での検討は、新宿区内の戸山幹線において、グリッドの搬入や設置の可否について確認した。結果はいずれも良好であった。確認の状況を図10に示す。



図10 模擬管と実現場での施工性確認

6.2. グリッドと4号モルタルの付着性確認

グリッドの樹脂であるビニルエステル自体はモルタルとの付着性能は低いですが、グリッドが格子状になっているため、モルタルが拘束され一体性が確保される。

グリッドは重ね継手時に必要なラップ長として3交点（2格子）が推奨されているが、今回検討している手法ではグリッド専用のモルタルを使用しないため、付着性能を確認し、重ね継手時に必要となるラップ長（格子数）を確認する必要がある。このため、グリッドと4号モルタルの引抜き試験を実施した。

引抜き試験では図11に示すように、グリッドを加工して、3交点（2格子）と2交点（1格子）の供試体を作成し、「引抜き試験による鉄筋とコンクリートと付着強度試験方法（JSCE-G 503-1999）」を参考に実施した。試験ケースと結果を表12に示す。

表12の平均付着強度は、定着度合いを定量的に評価するために、4号モルタルと接しているグリッド面を付着面積として算出したものであるが、全てのケースで4号モルタル相

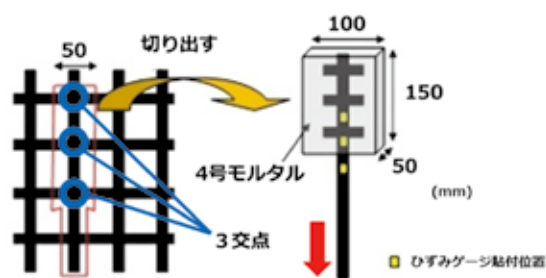


図11 引抜き試験の概要

表12 引抜き試験の試験ケースと結果

ケース No.	筋番	FRPグリッド					格子数	供試 体数	付着面積 (mm ²)	平均 最大荷重 (kN)	平均 付着強度 (N/mm ²)	供試 体数
		格子間隔 (mm)	筋断面積 (mm ²)	幅 (mm)	厚さ (mm)	格子数						
1	CR5	50×50	13.2	5.0	3.0	2	3	2235	13.20	5.89	3	
2	CR6		17.5	6.0	4.0	2	4	2748	14.90	5.40	4	
3	CR8		26.4	8.0	5.0	2	3	3468	18.40	5.32	3	
4	CR5		13.2	5.0	3.0	1	3	1490	9.10	6.13	3	
5	CR6		17.5	6.0	4.0	1	3	1832	9.30	5.09	3	
6	CR8		26.4	8.0	5.0	1	3	2312	12.60	5.44	3	

※付着面積はモルタルとの接触面積
※付着強度は（最大荷重／付着面積）で算出

当のコンクリートと異形棒鋼の付着強度の上限値である $4.2\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あったことから、定着は十分であると判断できる。

しかし、試験後の供試体を確認すると、格子数2ではグリッドが滑りぬけることもなかったことから、2格子分のグリッドが4号モルタルに埋まることで機械的な付着効果を発揮していることが分かったが、格子数1では、試験後の供試体にグリッド全体のズレなどが見られ、破壊状態から判断すると付着効果が不十分な可能性がある(図12)。

このことから、グリッドと4号モルタルの付着性能を確保するため必要なラップ長は3交点2格子を基本とすることとした。



図12 試験後の供試体 (1格子)

6.3. 施工マニュアルの作成

これまでの検討結果を踏まえ、施工マニュアルを作成するために必要な品質管理項目、施工管理項目、出来形管理項目を整理した。各項目における主な内容を表13に示す。

施工マニュアルの作成は、通常のSPR工法で使用している「SPR工法施工マニュアル-下水編-」に、グリッドに関する項目を追加する形で行った。

表13 管理項目の主な内容

管理項目	主な内容
品質管理	・グリッドの強度性能、製造番号、部材寸法
施工管理	・グリッドの設置・固定状況 (継手3交点(2格子)以上、基本1㎡に5箇所以上の固定) ・製管時のグリッドのズレ・破損の有無
出来形管理	・グリッドの配置(重ね枚数)と設置(固定状況)、継手状況等

7. 試行工事と施工性評価

7.1. 試行工事の実施

本工法の実現場での施工性、出来形、裏込め材充填の可否などを検証することを目的として、戸山幹線を対象に試行工事を実施した。施工場所を図13に、更生断面例を図14に、工事概要を以下に示す。

(工事概要)

工事名：戸山幹線再構築その5工事

工期：R元.6.6～R2.8.25

延長：□2,280×1,580 (L=55.75m)

□2,280×1,600 (L=55.60m)

施工は、①管きょ幅の1/2を仮締切工によりドライ環境にして、グリッドを設置し4号モルタルを打設、②反対側は、重ね継手の必要ラップ長(2格子(3交点))を確保するため、管きょ幅の2/3を仮締切工によりドライ環境にして、グリッドを設置し4号モルタルを打設、③プロファイルの製管、④4号モルタルの裏込め注入の手順で実施した。施工状況の写真を図15に示す。



図13 施工箇所(戸山幹線)

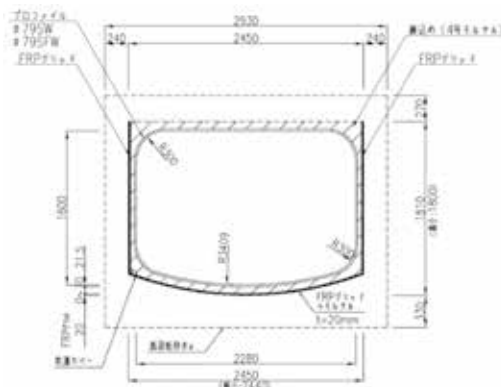


図14 更生断面例



図 15 試行工事の施工状況

7.2. 試行工事後の施工性評価

試行工事の評価を行うため、試行工事の実施状況の確認および施工後の追跡調査を実施した（図 16）。実施項目と結果を表 14 に示す。



図 16 追跡調査の実施状況

表 14 追跡調査の実施項目と結果

実施項目	実施内容	結果
目視調査	施工後3か月および6か月において、施工区間内（全区間）の更生管の表面の状況、嵌合状況、取付管部の処理状況等を目視で確認。	施工後3か月および6か月とも、異常は確認されなかった。
更生管断面寸法測定	施工後3か月および6か月において、施工区間内（20m毎）の更生管内空寸法（高さ・幅）を測定し、竣工図と比較。	施工後3か月および6か月とも、管理基準値以内であった。
充填モルタルの確認	圧縮強度 施工後3か月において、施工区間内（2断面・管頂部と側壁各1箇所）のモルタル部のコアを採取し、圧縮強度試験を実施。所定の圧縮強度（55N/mm ² 以上）の強度発現を確認。	圧縮強度は102～125N/mm ² ですべての供試体が所定の強度を発現していた。
	充填状況 施工後3か月において、圧縮強度試験のためのコア採取箇所（躯体側）のコア孔からモルタルの充填状況を目視で確認。	モルタルが問題なく充填されていた。
打音試験	施工後3か月および6か月において、施工区間内（20m毎）の気中部において打音試験を行い、モルタル充填状況を確認。	異音は確認せず、モルタルが問題なく充填されていると判断した。

追跡調査の結果、各調査項目において問題点は見られず、試行工事における施工後の状況は良好であることが確認された。

また、施工マニュアルの妥当性を検証するために、工事書類の確認と試行工事の施工者へのヒアリングを行った。その結果、施工上の問題点はなく、実態に応じた施工マニュアルの修正を実施した。施工マニュアルの主な修正項目を表 15 に示す。

以上の結果より、本工法の施工性に問題がないことが確認された。

表 15 施工マニュアルの主な変更点

項目	施工内容確認結果	追加・修正内容
FRPグリッドの施工	グリッドの固定にステンレスプレートとφ6mm (L=60mm、90mm) のコンクリートビスを使用	固定材料の一例として今回の施工方法を記載
底部モルタル打設	2cmの角材やスケール計測によるモルタル厚さ管理	モルタル厚の管理方法を追記
	角材を用いてグリッド継手しろを確保	グリッド継手しろの確保方法の一例として今回の施工方法を追記
製管工	更生管の位置調整等に用いるエアバッグジャッキを使用	保護方法としてエアバッグジャッキの使用を追記
裏込め工	4号モルタルでの管口シールは困難	通常のシール材の使用に変更
	上流部巻き始め管口はステンレス板による管口シールを実施し、それ以外の管口は急結のシール材（止水材混合）による管口シールを実施	

8. おわりに

本検討により、無筋蓋掛け管きょにおいて断面縮小を抑えつつ、レベル 2 地震動に対応可能とする耐震化手法が確立できたものとする。これにより、管きょ再構築事業が一層促進されることが期待される。

今回の検討では、4号モルタルとグリッドの組合せで検証を行ったが、SPR工法の特徴を踏まえ、複数の裏込め材から選択可能とし、流量確保だけでなく経済比較も含めた合理的な設計を行えるように、引き続き検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 「SPR更生部材のせん断耐力評価法の構築」(東京都下水道サービス(株)、足立建設工業(株)、積水化学工業(株)、2007年3月)