

V. 下水道事業調査費による他部の研究

1. 下水汚泥および植物発生材のリサイクルに関する調査

緑化生態研究室 室長 藤原 宣夫
主任研究員 石坂 健彦
石曾根敦子

1. 研究の目的

循環型社会の構築に向け、下水汚泥と街路樹剪定枝葉についても、リサイクル材料として有効利用が求められている。両者に共通するリサイクル方法として堆肥化が挙げられる。これまでの研究により、土壌改良材としての使用を念頭とした両者の混合堆肥（汚泥枝葉堆肥）の製造方法が明らかとなり、施用効果が確認されている。しかし、土壌改良材としての堆肥利用だけでは、利用量が限られているのが現状であり、用途の拡大のため、用途に応じた汚泥枝葉堆肥の品質向上が求められている。

そこでここでは、汚泥枝葉堆肥（以下、堆肥という）の土壌改良材以外の用途として、のり面緑化材料としての利用に着目した。建設事業に伴って発生するのり面面積は広く、その多くで緑化が行われることから、堆肥をのり面緑化材料として用いることができれば、リサイクルの推進に大いに貢献するものと考えられる。

本研究では、主要なのり面緑化工法である植生基材吹付工の基盤材に堆肥を適用するための品質を明らかにすることを目的とし、堆肥の粒径、他の基材（ピートモス）との混合割合を変化させた基盤材を用いて、施工試験を行い、吹付作業性、形成される緑化基盤の適性について評価を行った。

2. 研究の方法

2. 1 試験区の設定

試験地は、土木研究所構内の盛土のり面（勾配1:1.8、延長24m、のり高4m）とし、施工試験は、平成12年6月29、30日に行った。試験条件は、堆肥の粒径区分として、10mm未満の堆肥と、30mm未満の堆肥の2区分、堆肥とピートモスの混合割合（体積比）の区分として、50%:50%、70%:30%、90%:10%の3区分を設け、

表-1 試験区の内容

試験区番号	①	②	③	④	⑤	⑥	
堆肥の粒径	10mm未満			30mm未満			
堆肥とピートモスの混合割合	堆肥	50%	70%	90%	50%	70%	90%
	ピートモス	50%	30%	10%	50%	30%	10%
高度化成肥料(kg/m ³)	4.68	2.34	0	4.68	2.34	0	
侵食防止剤(kg/m ³)	5.0kg/m ³						
使用種子と発生期待本数	トールフェスク(100本/m ²)						
	コマツナギ(80本/m ²)						
吹き付け厚さ	5cm						

両者を組み合わせ6試験区を設けた（表-1）。各試験区の面積は2m×2mとし、その中心部に調査区画として1m×1mのコドラートを設置した。試験区の反復回数は4とし、のり面上部と下部に2反復ずつ設置した（図-1）。なお、のり面上部・下部それぞれの中での試験区配置はランダムとした。

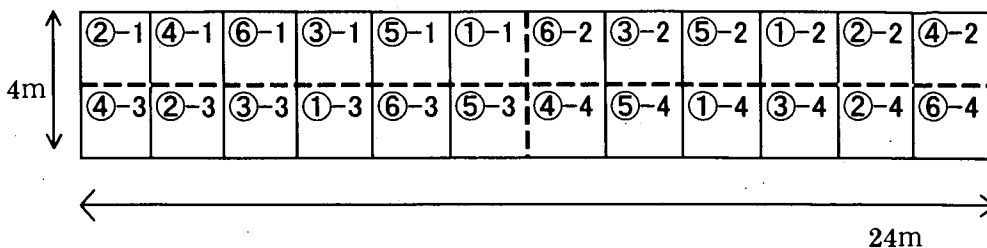


図-1 試験区の配列（枝番号は反復を意味する）

2. 2 調査項目

2. 2. 1 吹付作業性

吹付作業性の調査項目として、吹付速度、粉塵の発生状況、吹付中断回数と理由、機械・ノズルの閉塞回数を、のり面吹付時に計測および観察した。

2. 2. 2 緑化基盤の適性

緑化基盤の適性の調査項目として、コドラート内の土壤硬度および、トールフェスク、コマツナギの生存本数の測定を行った。土壤硬度は、山中式土壤硬度計を用いて1つのコドラートにつき5点を測定した。土壤硬度、生存本数の測定は、施工から7月19日までに16回行った。

2. 3 解析方法

吹付速度、土壤硬度、生存本数については、堆肥の粒径と堆肥とピートモスの混合割合を要因にする2元分散分析を行った。次に、有意な効果が認められた要因についてScheffeの方法による多重比較検定を行った。

2. 4 使用した堆肥の特性

試験に用いた堆肥は、街路樹管理から発生したケヤキが9割を占める枝葉粉碎物と、北海道北広島市北広島下水処理センターで製造した乾燥汚泥を、8:1の体積比で混合し100日間の発酵を経たものである。堆肥は製造後、粒径10mm未満と粒径30mm未満で篩い分けを行った。一般成分については、粒径区分ごとに堆肥の成分分析を行い、有害成分については、篩い分けを行う前に成分分析を行った。

堆肥の成分分析結果を表-2に示す。成分分析値を、有機質肥料等推奨基準(1994年、全国農業協同組合中央会作成)の「パーク堆肥」、「下水おでいたい肥」、および肥料取締法の基準値と比較した。その結果、一般成分の分析値については、含水率が高めの値を示し、陽イオン交換容量が低めの値を示した。また、有害成分の分析値については、すべての基準値を満足していた。

表-2 堆肥の成分分析結果

分析項目	単位 (SI単位)	測定結果		基準値				
		10mm未満	30mm未満	肥料取締法	推奨基準(認証要領)			
					パーク たい肥	下水おでい たい肥		
一般成分その他	含水率(水分)	10g/kg	52.9	53.7	—	60以下	50以下	
	pH	—	6	5.8	—	—	8.5以下	
	電気伝導度(EC)	dS/m	2.17	2.52	—	3以下	—	
	全窒素(T-N)	10g/kg	2.59	2.39	—	1以上	1.5以上	
	C/N比	—	15.0	15	—	40以下	20以下	
	有機物含量(強熱減量)	10g/kg	78.6	79	—	70以上	35以上	
	無機態窒素	10 ⁻² ×g/kg	90	170	—	25以上	—	
	陽イオン交換容量(CEC)	cmol(+)/kg	71.9	64.9	—	70以上	—	
	リン酸全量(P2O5)	10g/kg	3.19	2.83	—	—	2以上	
	アルカリ分	10g/kg	4.21	6.49	—	—	25以下	
	有害成分等	ヒ素(As)	%	0.00029		0.005以下	—	0.005以下
		カドミウム(Cd)	%	0.000089		0.0005以下	—	0.0005以下
		水銀(Hg)	%	0.000001>		0.0002以下	—	0.0002以下
ニッケル		%	0.0012		0.03以下	—	0.03以下	
クロム		%	0.0012		0.05以下	—	0.05以下	
鉛		%	0.0004		0.01以下	—	0.01以下	
銅(Cu)		mg/kg(ppm)	150		—	—	600以下	
亜鉛(Zn)		mg/kg(ppm)	420		—	—	1800以下	
アルキル水銀化合物		mg/L	0.0005>(不検出)		不検出	—	—	
水銀又はその化合物		mg/L	0.0005>		0.005以下	—	—	
カドミウム又はその化合物		mg/L	0.001>		0.3以下	—	—	
鉛又はその化合物		mg/L	0.01>		0.3以下	—	—	
有機リン化合物		mg/L	0.1>(不検出)		1以下	—	—	
六価クロム化合物		mg/L	0.1>		1.5以下	—	—	
ヒ素又はその化合物		mg/L	0.007		0.3以下	—	—	
シアン化合物		mg/L	0.1>(不検出)		1以下	—	—	
PCB		mg/L	0.0005>(不検出)		0.003以下	—	—	
トリクロロエチレン		mg/L	0.001>		0.3以下	—	—	
テトラクロロエチレン		mg/L	0.001>		0.1以下	—	—	
ジクロロメタン		mg/L	0.002>		0.2以下	—	—	
四塩化炭素		mg/L	0.0002>		0.02以下	—	—	
1,2-ジクロロエタン		mg/L	0.0004>		0.04以下	—	—	
1,1-ジクロロエチレン		mg/L	0.002>		0.2以下	—	—	
シス-1,2-ジクロロエチレン		mg/L	0.004>		0.4以下	—	—	
1,1,1-トリクロロエタン		mg/L	0.001>		3以下	—	—	
1,1,2-トリクロロエタン		mg/L	0.0006>		0.06以下	—	—	
1,3-ジクロロプロペン		mg/L	0.0002>		0.02以下	—	—	
チウラム		mg/L	0.0006>		0.06以下	—	—	
シマジン		mg/L	0.0003>		0.03以下	—	—	
チオベンカルブ		mg/L	0.002>		0.2以下	—	—	
ベンゼン		mg/L	0.001>		0.1以下	—	—	
セレン又はその化合物		mg/L	0.005>		0.3以下	—	—	

【特記事項】

- (1) 単位はSI単位を基本に表示。一般成分の測定値については乾物あたり。
(単位換算例 : 10g/kg=%, 10⁻²×g/kg=mg/100g, cmol(+)/kg=meq/100g)
- (2) >は定量下限値未満を示す。
- (3) 溶出試験は環告第13号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」による。

3. 施工試験の結果

試験吹き付けは当初基盤材に水分を添加せずに開始したが、粉塵の発生が激しいため1反復目の途中から水分を添加した。以下の解析では、水分添加条件が一定である2, 3, 4の3反復の結果を用いる。

3. 1 吹付作業性

各試験区の平均吹付速度と最大値と最小値の範囲を図-2に示す。吹付速度に対する分散分析の結果、粒径の違いによる有意な効果が認められ($p=0.037$)、多重比較検定から、粒径が大きい30mm未満の試験区(④, ⑤, ⑥)では、粒径10mm未満の試験区(①, ②, ③)より有意に速いことが確認された。

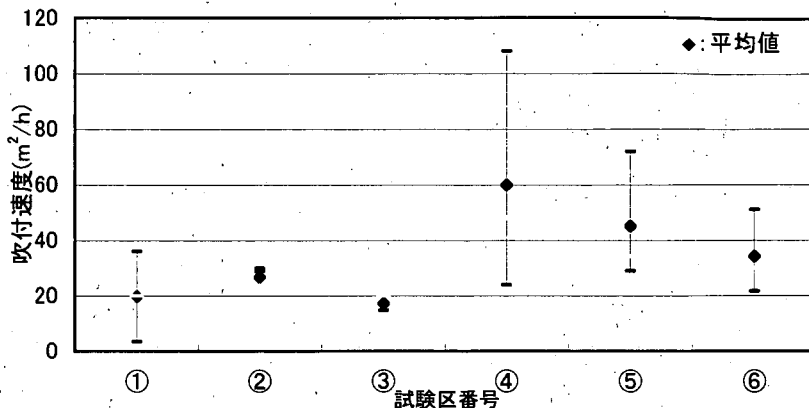


図-2 各試験区の平均吹付速度と最大、最小値の範囲

表-3 各試験区の機械・ノズルの閉塞、粉塵に関する調査結果

試験区番号	堆肥の粒径	堆肥とピートモスの混合割合	反復番号	機械の閉塞	粉塵の有無	ノズルの閉塞
①	10mm未満	50%:50%	2,3,4	なし	あり	なし
②		70%:30%	2,3,4			
③		90%:10%	2,3,4			
④	30mm未満	50%:50%	2,3	あり	なし	
⑤		70%:30%	2,3,4			
⑥		90%:10%	2,3,4	なし		

50%の試験区④の4反復目では、材料の付着による機械のつまりが1回発生した。

3. 2 緑化基盤としての適性

3. 2. 1 土壌硬度

本試験では、7月13日以降、トールフェスク、コマツナギの枯死が発生したため、土壌硬度の解析は、7月12日の計測値を用いて行った。

土壌硬度に対する分散分析の結果、混合割合の違いによる有意な効果が認められ ($P<0.0001$)、多重比較検定から、すべての堆肥の混合割合の間で5%水準の有意差が示された。すなわち、堆肥の混合割合が高くなるほど土壌が硬くなることが確認された。また、堆肥の混合割合の高い90%の試験区(③, ⑥)と堆肥の混合割合が70%の試験区(⑤)は、計測期間中に土壌硬度が27mm以上になった。なお、一般に土壌硬度が27mm以上の場合、植物の生育が阻害されると言われている¹⁾。

3. 2. 2 生存本数

コマツナギおよびトールフェスクの各試験区の平均生存本数を図-4, 5に示す。7月12日における生存本数に対する分散分析の結果、堆肥の粒径や堆肥の混合割合の違いによる有意な効果は認められなかった。また、コマツナギおよびトールフェスクの生存本数と土壌硬度の間には相関はなく、明瞭な関係が見られなかった(図-6)。

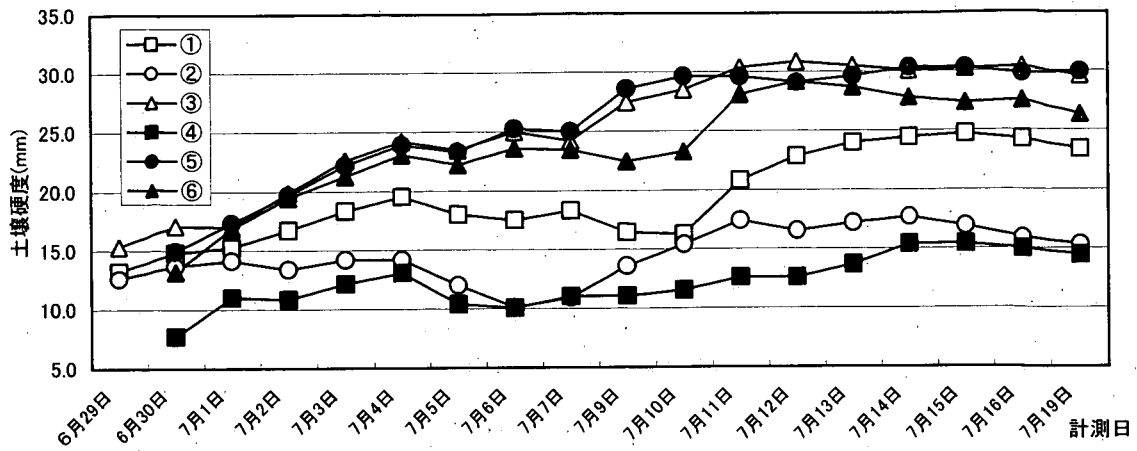


図-3 各試験区の平均土壌硬度

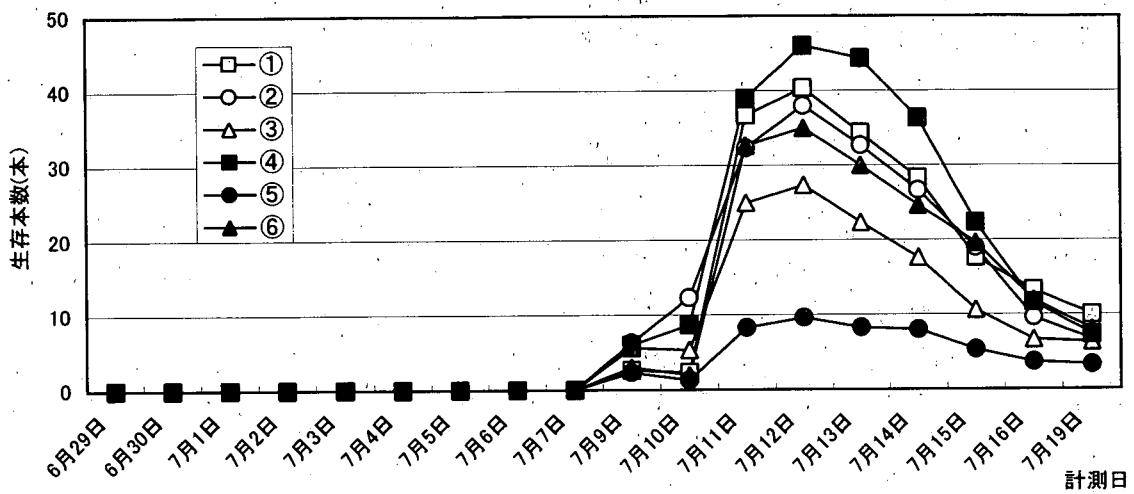


図-4 各試験区の平均生存本数(トルフェスク)

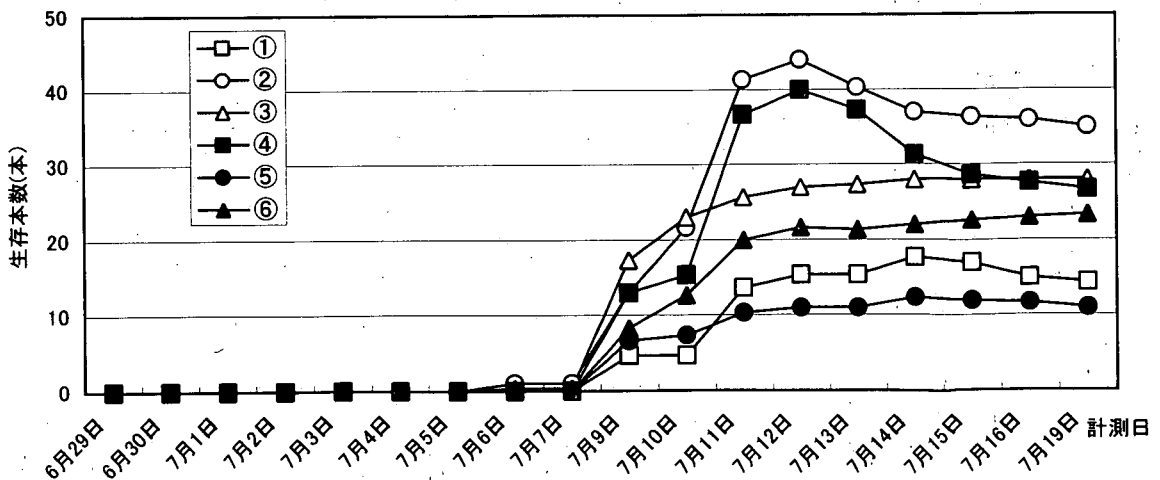


図-5 各試験区の平均生存本数(コマツナギ)

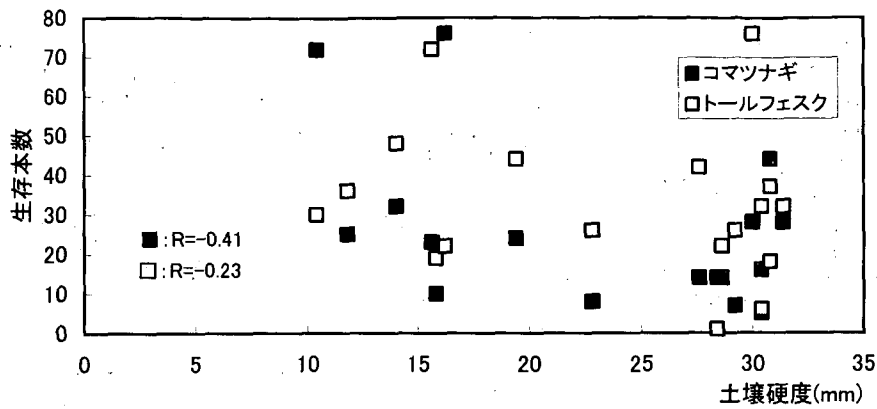


図-6 土壌硬度と生存本数の関係

4. まとめ

吹付速度については、粒径30mm未満の堆肥を用いた方が速く吹き付けることが確認された。また、吹付中の粉塵の発生や機械のつまりは、堆肥の混合割合が低く、ピートモスの混合割合の高い50%試験区で発生した。これは、吹付基盤を柔らかくするピートモスの混合割合が高いと、粉塵や機械のつまりが発生したのではないかと推測される。よって、吹付作業性を考慮すると、堆肥は、粒径の大きい30mm未満の堆肥を用いて、堆肥とピートモスの混合割合を70%:30%、もしくは90%:10%に設定することが望ましいといえる。

また、堆肥の混合割合が高くなるほど土壌が硬くなる傾向が示されたが、本試験では、土壌の硬さと生存本数の間には明瞭な関係が見られなかった。

以上のことから、のり面緑化に用いる堆肥は、吹付作業性、緑化基盤の適性を考慮すると、粒径の大きい30mm未満の堆肥を用いて、堆肥とピートモスの混合割合を70%:30%、もしくは90%:10%に設定することが望ましいといえる。

5. 参考文献

1) 新田伸三他：土木工事ののり面緑化保護工，鹿島出版，p87-p88，1980

6. 主な研究成果物

藤原宣夫・石坂健彦・石曾根敦子・森崎耕一・飯塚康雄、土木研究所資料第3708号、2000.3

(藤原、石坂、石曾根)

2. 浸水被害軽減のための各種施設の組合せに関する調査

都市河川研究室	室長	吉谷 純一
	主任研究員	木内 豪
	研究員	舘 健一郎
	研究員	水草 浩一

1. まえがき

都市雨水の面的排水機能を受け持つ下水道は、設計規模（再現期間）の降雨を対象に整備が図られている。そのため、この規模を上回る降雨の発生や放流先河川の流下能力不足により、地表面に湛水の生じる場合もある。一般に、湛水深が深いほど被害額が増大するため、湛水を広い領域に分散させる方が被害額の面から考えて有利となる場合もある。最近では、流域規模での浸水対策事例として流出抑制施設が着目されているものの、事例としてはまだ数少ない状況である。また、河川や大規模下水道幹線等の、幹線施設と異なる時間スケールに対する水理効果を評価する手法が、十分に確立されていないという問題も残されている。

2. 研究目的

都市域の雨水排水対策としては、下水管路、都市下水路の他、防災調節・調整池、排水機場、地下貯留管、雨水貯留・浸透施設等があり、逐次整備が行われている。これらの各施設を都市の実状に応じて組み合わせることにより、浸水被害の軽減が期待される。また、その整備水準については、将来に渡って合理的手法により決定される必要がある。

本調査では、幹線施設だけでなく流域規模での流出抑制施設の水理効果を評価するために、流出から氾濫までを一連の現象としてとらえた分布型流出・氾濫モデルを作成し、その検証を行う。そして、各種流出抑制施設の組合せによる浸水被害軽減効果を算出し、望ましい都市雨水対策を提案するものである。

3. 過去の調査結果

平成10年度は、下水道水理模型を用いて、逆流防止施設およびポンプ排水の効果を実験により確認した。また土木研究所（旧建設省）で開発したPWRI（Precipitation Water Routing and Inundation）モデルを改良し、実験の結果を用いて仮想流域での効果を算定し検証を行った。

平成11年度は、上記PWRIモデルに対して、実流域であるA流域（排水区面積：53.40ha、不浸透面積率：95%、管渠本数：360本）において、実績降雨を対象とした排水路内雨水追跡モデルおよび地表面氾濫モデルをそれぞれ検証し、モデルの再現性について確認を行った。また、降雨時の下水道管路内の流れおよび氾濫発生時の氾濫水の流れを把握するため、東京都内の落合処理区に位置する桃園川幹線区域を対象とした観測体制を確立した。

4. 平成12年度の調査内容

平成12年度は前年度に雨水追跡モデルや地表面氾濫モデル等の改良を加えたPWRIモデルに対して、さらに流出抑制施設による流出抑制効果を算定するサブモデルを追加した。そして前年度に検討対象としたA流域において、1982年9月12日の降雨を対象とした流出抑制効果の試算を行った。

さらに、桃園川幹線流域における水位－流量曲線を得るための現地観測を出水期に複数回実施した。また、

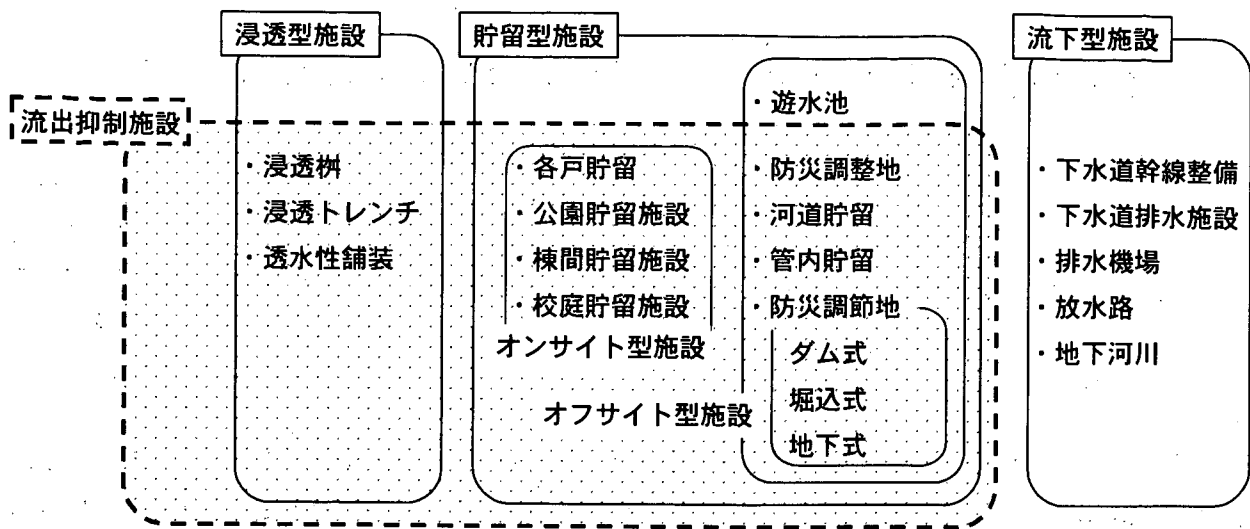


図-1 治水排水施設の種類

当地域における下水道管渠情報の収集・整理、対象域内の流出抑制施設の実態調査、神田川の水文情報の収集、地質情報の収集等を行った。

4.1. 流出抑制施設の流出抑制効果算定

4.1.1. 流出抑制施設のモデル化

流出抑制施設は、その機能面から貯留型と浸透型に大別することができ、さらにその規模や形態により細分できる。図-1はその分類について示したものである。

本調査においては、流出抑制施設の流出抑制効果の算定を行うサブモデルをPWRIモデルに追加することとした。モデル化の際に用いた具体的な式類については表-1に、特に注意が必要なものについては以下にそれぞれ示す。

● オンサイト型貯留施設

公園貯留施設、棟間貯留施設、校庭貯留施設等のオンサイト型貯留施設は、平常時において治水以外の目的で施設を利用するため、安全性や利便性等の面から貯留水深を大きくすることが困難であることが多い。

そのため洪水時の水深変動が少なく、放流量を一定と仮定する矩形放流モデルで表現した。

● 浸透トレンチ

浸透トレンチのような容積が大きい浸透施設は、貯留効果を見逃すことができない。このため連続式

表-1 雨水浸透施設の形式別モデル化

施設タイプ	定式化	注 釈
ダム式	連続式 $\frac{dV(h)}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$ 運動式 $Q_{out} = bh^a$	B, q : 流量係数 Q_{in} : 施設流入量 h : 貯留施設内水深 Q_{out} : 施設流出量 V : 施設容量
堀込式・地下式	$Q_{out} = \min(Q_{in}, Q_{max})$	Q_{max} : 越流開始流量
オンサイト型貯留施設	$Q_{out} = Q_{in}$ $V \leq VL$ のとき $Q_{out} = Q_0$ $V > VL$ のとき	VL : 天端に達する前の貯留量 Q_0 : 施設のピーク放流量
浸透トレンチ	連続式 $\frac{dV(h)}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$ 運動式 $Q_{out} = aAh = aV$	a : 浸透能力係数 A : 浸透域面積 H : 浸透施設内水深
浸透樹	ベースカット	

および浸透施設内の水深に
 応じた浸透量算定式を用いた。

● 浸透枵

浸透枵のような、集水面積
 に対して容積の小さい施設
 については、降雨初期の段階
 で満水し貯留効果は低いと
 考え、有効降雨から設計浸透
 能力相当の雨量を一定量差
 し引くベースカットモデル
 で表現した。

4.1.2. 流出抑制効果試
 算

A地区を対象として、流出
 抑制施設のうち浸透型施設
 である浸透枵についてモデ
 ルの感度分析を行った。なお、
 算定に当たっては、表-2に
 示すとおり、4mm/hr（約
 0.5m³/hr/個）の浸透能力を
 有する施設を流域全体に
 4276 個が平均的に分布して
 いるものと仮定し、排水路の
 マンホール部での水位で比
 較を行った。

図-2に計算結果を示す。
 この図-2の縦軸は地盤高
 から水面までの距離であり、
 負の値は地表面に湛水して
 いることを表している。また
 横軸はマンホール数である。
 この結果から、浸透枵を設
 置することにより、湛水箇所
 数は約4割減少しており、浸
 透枵の設置による浸水被害
 軽減効果を確認することが
 できた。

表-2 A地区で仮定した雨水浸透施設の概要

設 定		浸 透 施 設 無 し	全流域に浸透能力 4mm/hr 相当の 浸透施設を仮定
面 積	m ²	534,460	534,460
対象降雨	年/月/日	1982/09/12	1982/09/12
フィルタ		無し	ベースカット
浸透施設 諸 元	浸 透 量	m ³ /sec	—
	浸透能力	m ³ /hr/個	—
	設置個数	個	—
			0.6
			0.5
			4276

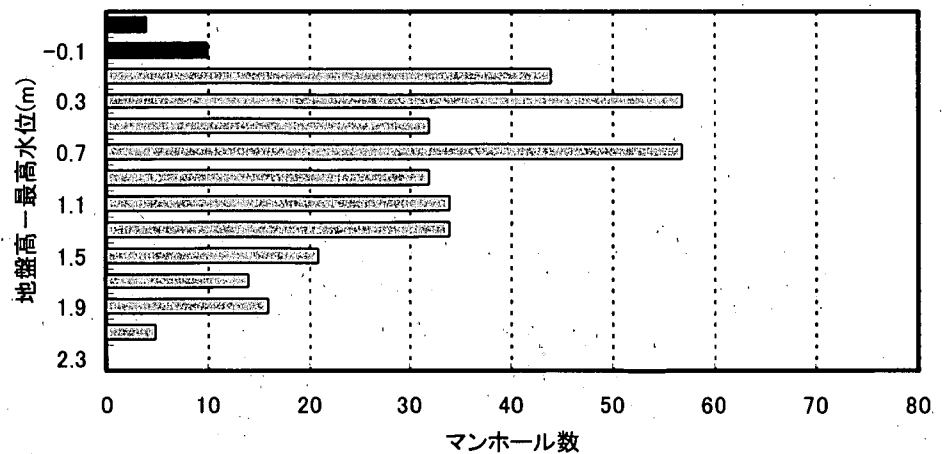
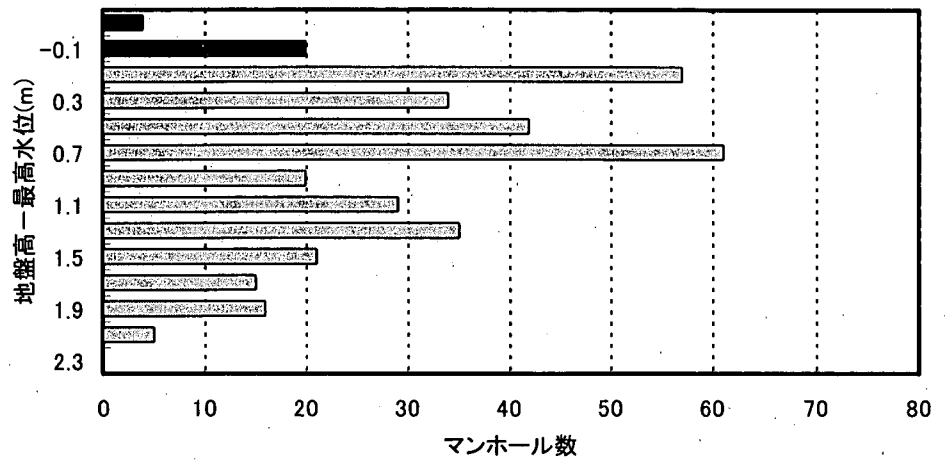


図-2 雨水浸透枵の設置によるマンホール部水位の変化

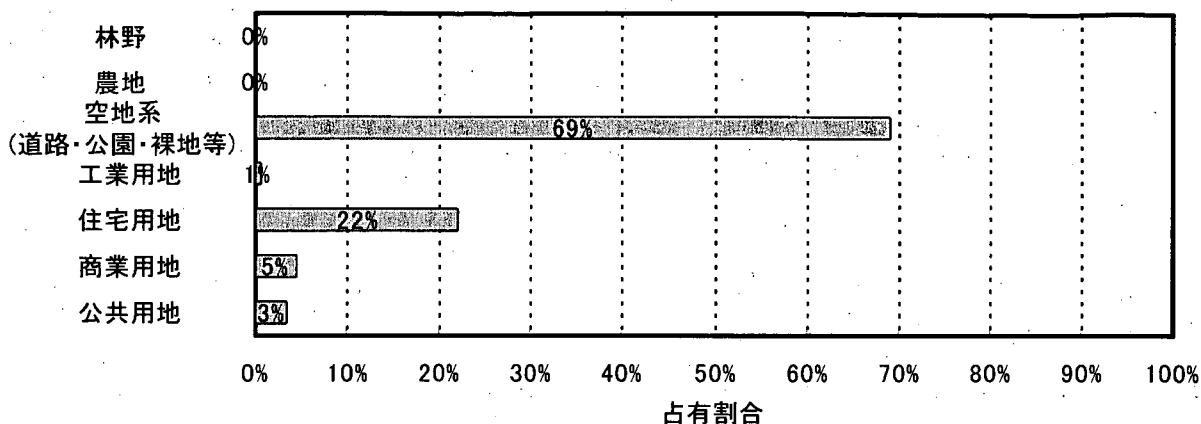


図-3 対象流域の土地利用状況

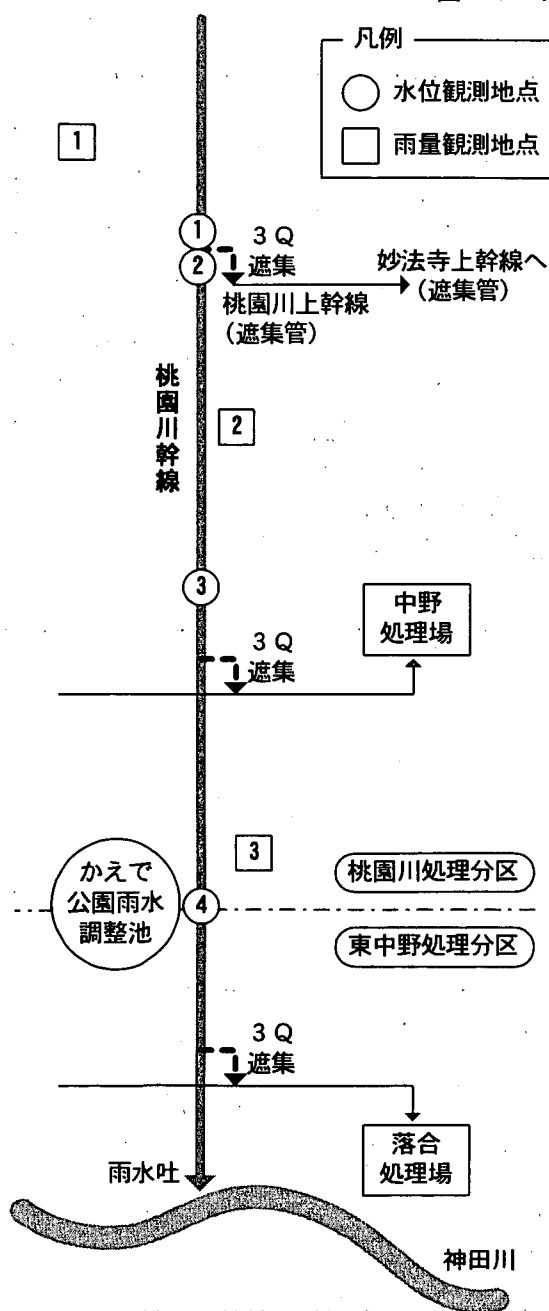


図-4 桃園川幹線流域概略図

4.2. 桃園川幹線地区における流出モデルの検証

4.2.1. 桃園川幹線地区の概要

今回流出モデルの検証を行う対象地区としたのは、桃園川幹線上流流域である。

対象流域の土地利用状況としては図-3に示すとおりである。この図から判明する対象流域の特異な点として、空地系が過半数を占めていることが挙げられる。ここで空地系とは、道路、公園、裸地、鉄道用地等であるが、その中でも当該流域においては道路面積の比率が全面積の64.8%と高い。東京都内の平均的な道路面積率が15~30%程度であることから、特殊な流域であるといえる。

4.2.2. 桃園川幹線流域下水道管渠ネットワークのモデルへの適用

この桃園川幹線流域を模式化したものが図-4であるが、今回の解析においては、水位観測点2より上流部(桃園川幹線全流域654.33haのうちの110.57ha)を対象とした。この水位観測点2より上流部における管径900mm以上を対象としたマンホール数は68箇所である。管渠諸元等の情報のうち、管底高やマンホールの大きさ等に関して収集したデータに欠落があったことから、設計指針や既存情報から判断して不足部分を補った。

4.2.3. 現地観測結果

桃園川幹線流域地区に設置した4箇所の水位計により、出水期において数回の現地観測を実施した。水位計設置地点1~4までの水位-流量の関係から、現状のデータにおいて最も適合性の高いH-Q曲線式、ならびにマンニングの粗度係数を算出した結果を表-3に示す。出

水時のデータが少ない点や、浮子観測であり浮子が断面の中心部を流下していないことから、算定された流量が過小評価されている可能性の生じている点について、今後改善および検討の余地を有するものと考えられる。なお、流出に関する各種係数は、上記のような道路面積が流域の大半を占めるという特異な土地利用状況の影響を大きく受けている。

4.2.4. 流出抑制施設設置状況調査

当該流域の含まれる中野区および杉並区では、様々な施設が長期にわたって設置されてきている。これらの施設数は膨大であり、全ての施設について正確な設置位置や設置数量を把握することは非常に困難であることは十分に予想された。東京都から得られた資料によると、約20年程度前からの流出抑制施設設置数は全種の施設を合計して約4800個であるが、1箇所複数の種類の施設を設置している場合もある。なお、設置箇所数および位置の確定している施設数等については表-4に示すとおりであり、全体の約35%で位置を把握することができた。

4.2.5. 桃園川幹線流域における流出抑制効果の試算

解析対象降雨として平成12年7月2日(降雨継続時間65分)と降雨時間の長い平成12年7月8日(降雨継続時間425分)を用いることとする。

図-5に、水位観測点2における実測水位および解析水位の時間推移を示す。解析結果のピーク流量を示す波形が一致していることから、概ね現況の流出状況を再現できていると考えられる。解析値と実測値が若干ずれる箇所に関しては、貯留(遅滞)効果が過大になっている可能性がある。対応としては貯留施設の貯留量および等価粗度係数の設定見直し等が考えられる。

実際には水位観測点1と水位観測点2の間で遮集(0.1m³/s程度)が行われていることから、一定量差し引きにより解析を行った。しかし、水位計算の収束性が悪い状況であり、この遮集目的の分水施設を含め、分水を考慮した流出解析プログラムへ改良する必要がある。

その他に生じた問題点としては、無降雨時の計算不安定性がある。実際に治水施設を設置した場合、小降雨時においてはノードへの集水量がゼロになる可能性があり、無降雨時と同様の計算を行う必要が生じると考えられることから、計算安定性の確保が重要である。また、排水路系からの吹き上げにより発生させる地表面湛水を、現在の解析モデル中では降雨期間中には排水路系へ還元されないものとして取り扱っていることから、浸水時間が実際よりも長くなる傾向も生じている。これら問題を生じる現象の流出解析への組み込みが今後必要である。

表-3 各地点における流量算定式と粗度係数

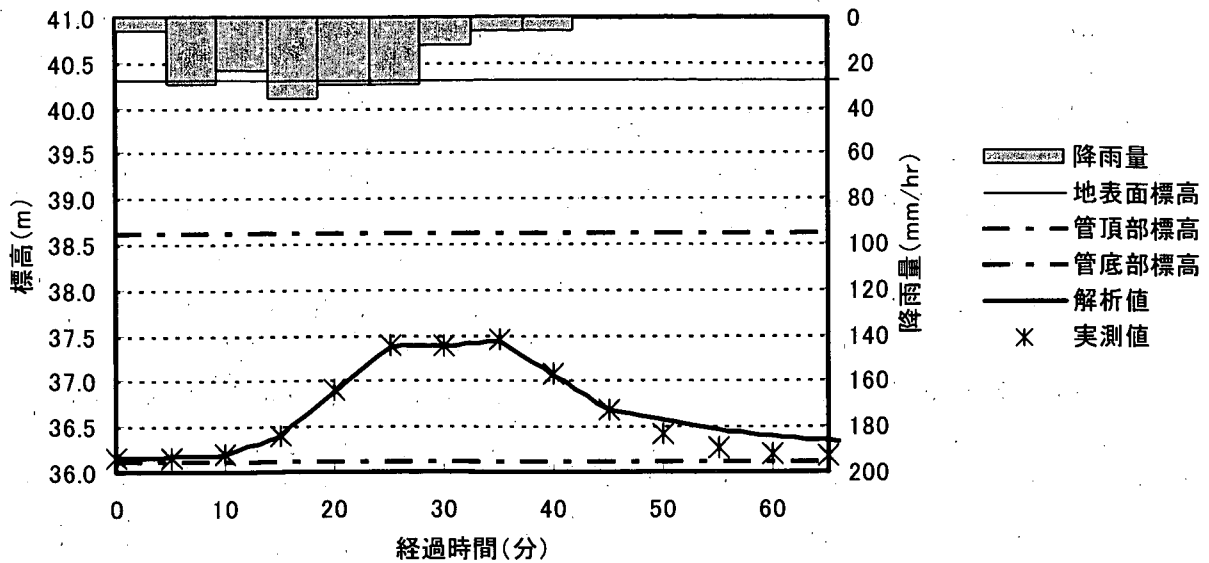
水位観測地点名	H - Q 曲線式	マンニングの粗度係数
1	$Q = 4.10(H + 0.08)^2$	0.013
2	$Q = 13.92(H - 0.02)^2$	0.009
3	$Q = 4.08(H + 0.22)^2$	0.022
4	$Q = 5.58(H + 0.03)^2$	0.032

表-4 中野区・杉並区の流出抑制施設数

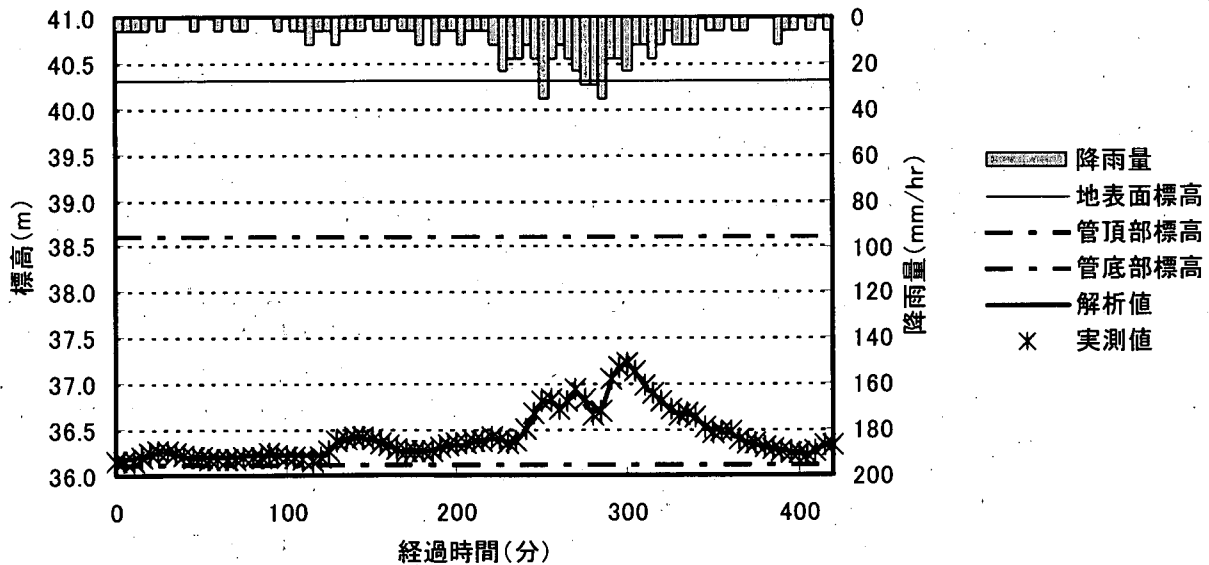
流出抑制施設種類	設置件数	位置確定件数
浸透トレンチ	1,669	758 (45%)
浸透柵	1,562	690 (44%)
道路浸透柵	51	4 (8%)
浸透U型側溝	117	72 (62%)
その他浸透型施設	78	26 (33%)
透水性舗装	1,205	269 (22%)
その他貯留型施設	138	77 (56%)
全施設箇所※	2,637	917 (35%)

※ 1箇所に複数の施設種類が存在する場合もあるため「全施設箇所」は全施設数と異なる

(出典：東京都下水道局調べ)



(A) 平成12年7月2日降雨



(B) 平成12年7月8日降雨

図-5 観測点2における解析水位および実測水位の時刻歴推移

5. まとめ

平成12年度は実流域であるA流域に対して実績降雨を適用し、流出抑制施設による流出抑制効果を算定するプログラムをPWRIモデルに付加した、分布型流出・氾濫モデルの再現性を検証した。その結果、浸透柵の設置による冠水マンホール数の減少傾向が示され、浸透被害軽減効果が確認できたといえる。

桃園川幹線流域における現地観測、および下水道管渠情報、流出抑制施設等の実態調査の結果からは、当該地域の土地利用状況が非常に特異であることが判明し、それが流出に係わる各種係数に影響を及ぼすことがわかった。また、PWRIモデルの適用については、小さな流域（水位観測点2より上流域）について、解析値と実測値が概ね近似した良好な結果を得ることができた。

今後は、PWRIモデルに生じる各種問題を解消することにより、さらに大きな流域である桃園川幹線全流域に対してモデルを適用し解析を行う。

3. 管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査

施工研究室 室長 大下 武志
 研究員 市村 靖光
 井谷 雅司

1. はじめに

本調査は、超小口径や超長距離の推進工法、止水性や耐食性の機能を維持した二次覆工省略型のシールド工法などの新技術・新工法を含めた下水管路施工法に関して、建設費だけではなく、維持管理費も含めたトータルコストによる評価を行い、現場条件に適合した合理的な施工法の選定手法を確立するとともに、コスト縮減方策を提案することを目的としている。また、トータルコストには、施工に伴う振動・騒音、路上占有による交通渋滞、掘削残土の発生、グラウト注入による土壌や地下水汚染などの周辺環境に及ぼす影響をコスト換算したものも含めて、評価することとした。12年度は、推進工法を対象に適用条件別に分類・整理を行い、コスト縮減のための改善項目を整理した。また、地方自治体に対するアンケートおよびヒアリングを行い、コスト縮減に対する取り組みと維持管理の実態を調査した。

2. 推進工法の分類・評価

表-1および表-2は、各種推進工法の概要をまとめたものである。これらの工法に関して、管径、推進延長、土質条件、路線の線形などの施工条件と周辺環境に対する影響について比較、整理を行った。

表-1 各種推進工法の概要（その1）

工法名		概要	
小口径管	高耐荷力	圧入方式一工程	元押ジャッキを用い、直接推進管を地中に圧入させる方式であるため、軟弱な地盤に適用される。先導体により地山を圧密、かつ方向修正を行いながら推進するもので、排土は行わない。
		圧入方式二工程	一般に軟弱地盤に多用される。第一工程では先導体、及び誘導管を圧入推進させる。先導体には圧密ジャッキヘッドを用いる方法と、斜切りヘッドを用いる方法があり、遠隔方向制御装置により方向修正を行う。第二工程では誘導管後部に拡大カッタと推進管を接続し、排土スクリュをセットした誘導管を案内として排土しながら推進する。
		オーガ方式	先導体内にオーガヘッド及びスクリュコンベヤを装着し、その回転により掘削排土を行いながら推進を行う工法であり、遠隔方向制御装置により方向修正を行う。オーガヘッドにより掘削された土砂は、推進管内に設置されたスクリュコンベヤ、及びケーシングにより発進立坑まで排土される。専用のローラビットを装着すれば、砂礫・玉石層にも対応が可能。
		泥水方式一工程	推進管または誘導管の先端に泥水式先導体を装備し、切羽安定のため泥水を送り、カッタの回転により掘削を行い、掘削した土砂は泥水と混合しスラリー状の掘削土砂を流体輸送して、地上の泥水処理設備で土砂と泥水に分離する。泥水式セミシールドを小型化し遠隔制御したもので、先導体に直接推進管を接続して推進する方式である。玉石・転石・岩盤対応の専用機もある。
		泥水方式二工程	掘削、及び推進の原理は一工程と同様であるが、先導体に誘導管を接続して一旦到達立坑まで推進した後、誘導管を推進管と置換する方式である。
		泥土圧方式	推進管の先端に先導体を装備し、掘削土砂の塑性流動化を促進させるための添加材注入と止水バルブの採用により、切羽の安定を保持しながらカッタの回転により掘削を行い、掘進量に見合った排土を行うことで切羽土圧を調整しながら推進する。排土方式には、スクリュコンベヤで行う方式と、圧送ポンプにより排土する方式がある。また、先導体の先端カッタを交換することにより、普通土から礫、玉石混じり土まで対応することができる。

表-2 各種推進工法の概要(その2)

工法名		概要	
小口径管	低耐荷力	圧入方式一工程	先導体に圧密揺動ヘッド、斜切ヘッドなどを用い、方向修正を行いながら前面の地山を先導体外周方向へ圧密し、推進ジャッキによりケーシングに推進力を負荷し、初期抵抗を負担、推進管には土との管外面抵抗のみを負担させることにより、推進するもので、排土は行わない。
		圧入方式二工程	鋼製の誘導管を先導体として用い、方向修正を行いながら到達立坑まで圧入推進させた後、誘導管を案内として拡大カッタヘッドを用いて掘削し、発進立坑に排土しつつ、推進ジャッキによりケーシングに推進力を負荷し、初期抵抗を負担、推進管には土との管外面抵抗のみを負担させることにより推進するものである。
		オーガ方式	先導体内にオーガヘッド、及びスクリュコンベヤを装着し、その回転により掘削排土を行いながら推進を行いつつ、推進ジャッキによりスクリュコンベヤ類に初期抵抗を負担させ、推進管には土との管外面抵抗のみを負担させることにより推進するものである。
		泥水方式	先導体に送排泥管を内蔵したケーシングを接続し、泥水を圧送、切羽の安定をはかりながら、カッタの回転により掘削を行う。掘削した土砂は泥水と攪拌し、排泥管を通して排泥ポンプにより坑外に流体輸送して、地上の泥水処理設備で土砂と泥水を分離する。推進ジャッキによりケーシングに初期抵抗を負担させ、推進管には土との管外面抵抗のみを負担させることにより推進するものである。
		泥土圧式	主に滞水層地盤を対象とし、推進管の先端に先導体を装備し、添加剤を注入し、掘削土砂の塑性流動化をはかり、切羽の安定を保持しながら掘削を行い、ピンチ弁の開閉により切羽圧を調整し、初期抵抗をケーシング、スクリュコンベヤなどに負担させ、低耐荷力管には管外面抵抗のみを負担させ推進する。
	鋼管さや管方式	圧入方式	主として空気衝撃ハンマ・ラム式を用いる。この方式は、圧縮空気を駆動源とする衝撃ハンマを用いて推進する。
		オーガ方式	鋼製管先端部に取り付けた先導体内にオーガヘッド、及びスクリュオーガを装着し、その回転により掘削された土砂を、鋼製管内に設置されたスクリュコンベヤによって発進立坑まで排土しながら推進する方式である。
		ボーリング方式一重ケーシング	鋼管の先端に超硬切削ビットを付けた鋼管本体を回転しながら推進する。
		ボーリング方式二重ケーシング	非回転の外管の中に回転するスクリュ付内管を入れ、その内管の先端に超硬切削ビットを付けたカッタにより掘削しながら推進し、到達後に内管を引き抜く方式である。
		泥水方式	泥水圧により切羽の安定をはかりながら、掘削土砂は流体輸送により坑外に搬出し、泥水は切羽に循環する工法である。
中・大口径管	セミシールド	刃口推進	推進工法用鉄筋コンクリート管の先端に先導体として刃口を装着し、後方の発進立坑内に設置した推進設備(ジャッキの推進力)によって管を連続推進する工法で、切羽掘削、残土排出は人力を主体に行う。元押しジャッキのみで推進する元押し工法を基本とするが、推進力が不足する場合は、連続した推進管の適切な位置に可動性を有する中押し装置(管)を設置し、この中押し用ジャッキと元押し用ジャッキを交互に操作しながら推進する中押し工法を採用する。
		泥水式	推進工法用鉄筋コンクリート管の先端に方向修正ジャッキなどを装備した、密閉型泥水式掘進機を先導体として、後方の発進立坑内に設置した推進設備(ジャッキの推進力)によって管を埋設・推進する工法である。
		土圧式	推進工法用鉄筋コンクリート管の先端に方向修正ジャッキなどを装備した、密閉型土圧式掘進機を先導体として、後方の発進立坑内に設置した推進設備(ジャッキの推進力)によって管を推進・埋設する工法である。
		泥濃式	推進工法用鉄筋コンクリート管の先端に方向修正ジャッキなどを装備した、密閉型泥濃式掘進機を先導体として、基本的には中押しジャッキを用いず、後方の発進立坑内に設置した元押しジャッキの推進力によって管を推進・埋設する工法である。

表-3は、各種推進工法の適用範囲を整理したものである。礫質地盤への対応や長距離・曲線推進などコスト縮減に有効と思われるものについては、近年いくつかの新工法が開発されている。しかしながら、施工実績は少ないのが現状で、今後はより一層の長距離化、機械損料の低コスト化、積算基準の確立などが必要と思われる。また、周辺環境への影響をみると、泥水式がすべての項目について不利なものとなっている。これは、泥水処理設備を設置しなければならないため、作業ヤードが大きくなること、騒音・振動の発生源になること、掘削土砂

表-3 適用条件別推進工法分類表

工法名	項目	適用管径	推進延長	適用土質			長距離・ 曲線推進	周辺環境への影響					
				粘土	砂	礫		道路占有	地下埋設物 等への影響	騒音・振動	建設副産物	地下水汚染、 地盤沈下等	
													○
小口径管	高耐荷力	圧入方式一工程	φ200~300	30m程度	○	△	×	×	○	△	○	○	○
		圧入方式二工程	φ250~700	50m程度	○	△	×	×	○	△	○	○	○
		オーガ方式	φ250~700	60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○
		泥水方式一工程	φ250~700	100~140m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×
		泥水方式二工程	φ250~500	120~160m程度	○	○	△	○(新工法)	×	△	×	×	×
		泥土圧方式	φ250~700	60~80m程度	○	○	△	○(新工法)	△	△	△	△	○
	低耐荷力	圧入方式一工程	φ200~300	40m程度	△	×	×	×	○	△	○	○	○
		圧入方式二工程	φ150~450	50m程度	△	△	×	×	○	△	○	○	○
		オーガ方式	φ150~450	50m程度	○	△	×	×	○	△	△	○	○
		泥水方式	φ200~300	50~60m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×
		泥土圧式	φ200~450	50~60m程度	○	△	×	×	△	△	△	△	○
	鋼管さや管方式	圧入方式	φ400~800	10~30m程度	△	△	△	×	○	△	○	○	○
オーガ方式		φ400~800	50~60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○	
ホーリング方式 一重ケーシング		φ400~800	50~60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○	
ホーリング方式 二重ケーシング		φ400~800	50~60m程度	○	△	△	×	○	△	△	○	○	
泥水方式		φ400~800	50~60m程度	○	○	△	×	×	△	×	×	×	
中・大口径管	セミシールド	刃口推進	φ800~3000	70~200m程度	△	△	△	×	△	×	○	○	○
		泥水式	φ800~3000	100~500m程度	△	○	○	○(新工法)	×	×	×	×	×
		土圧式	φ800~3000	70~350m程度	△	○	○	×	△	×	△	△	○
		泥濃式	φ700~2000	600m程度	△	○	○	○(新工法)	×	×	×	×	×

*適用土質等 ○:適用可、△:条件により適用可、×:適用不可

**周辺環境への影響 ○:小さい、△:やや大きい、×:大きい

が泥水となることなどによる。泥水式は、推進延長が他工法に比較して長く、また適用できる地盤条件も広いため、施工条件だけで見た評価は高いが、周辺環境への影響を外部コストとして計上した場合には、泥水式の総合評価が下がる可能性がある。

3. 自治体に対するアンケート調査結果

(1)調査対象

調査対象は、東京都、横浜市、大阪市など全国各地の24自治体とした。まず、平成11年度までの下水道普及率を見ると、札幌市、東京都、横浜市、京都市、大阪市、福岡市ではほとんど整備が終わっており、政令指定都市では概ね8割を超える普及率となっている。これらの都市では、今後は維持管理にかかるコストが増大することが予想される。一方、図-2は平成11年度の下水道管路工事(処理場を除く)の予算内訳(全国平均)を示したものであるが、管路の新設にほとんどの予算が充てられ、点検・補修といった維持管理の割合が極端に少ない。これは、地域別に見ても同様の傾向で、普及率の高い自治体でも同じ比率になっている。やはり、新設に比べて維持管理費を確保することが困難な状況であることが見受けられる。

また、図-3は管路工事における各種工法の割合(全国平均)を示したもので、開削工法が全体の8割以上を占めている。また、地域別に見ると、都市部においては推進工法、シールド工法の割合が高くなっている。図-4は、管路工事における管径の割合(全国平均)を示したもので、700mm未満の管が圧倒的に多い。

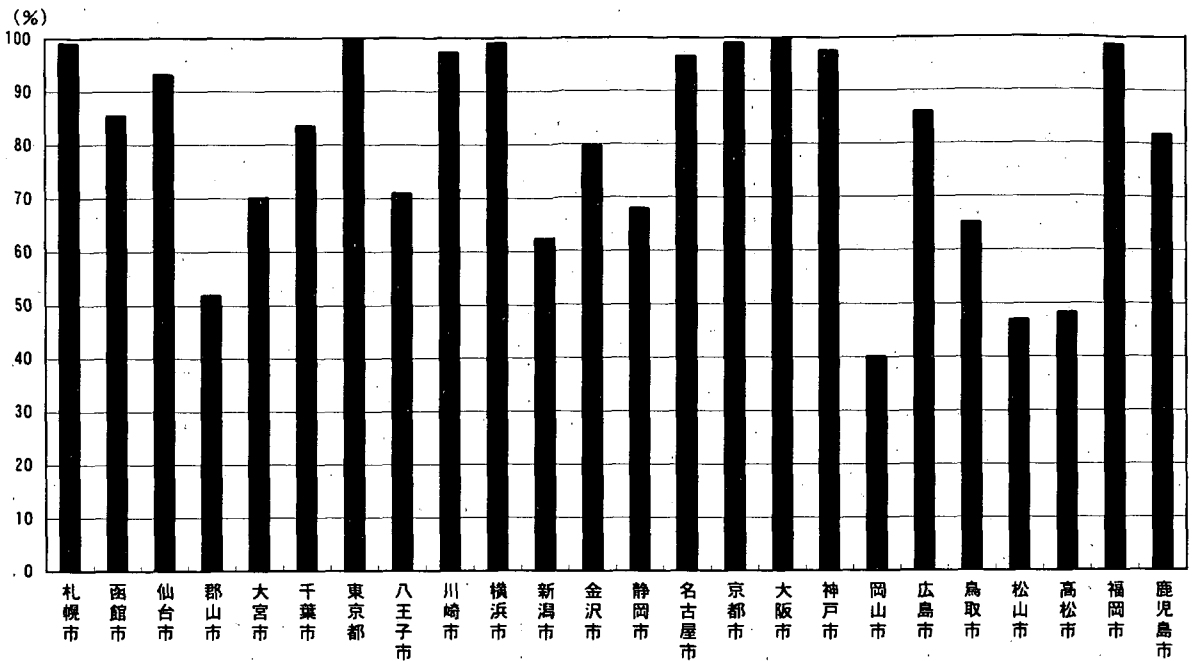


図-1 平成11年度までの下水道普及率(処理人口/総人口)

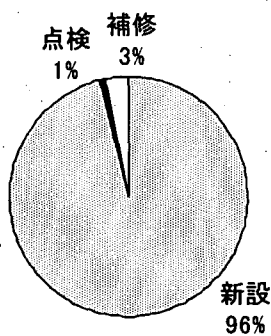


図-2 予算内訳

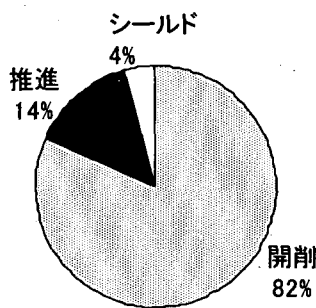


図-3 工法内訳

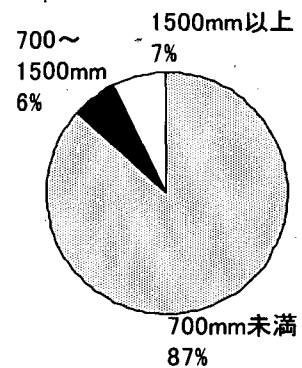


図-4 管径内訳

(2) 管路の新設工事に対するコスト縮減

まず、管路の新設工事に対するコスト縮減の取り組みについては、表-4に示すような回答があった。

開削工法については、いずれの自治体においても施工実績の7~8割を占めているため、様々な縮減策が実施されているようである。特に回答の多かった再生材の使用や建設発生土のリサイクルは、外部コストの縮減効果も期待でき、今後も積極的に推進する必要がある。

推進工法については、長距離・曲線施工という回答が大多数であった。しかしながら、施工条件によっては必ずしもコスト縮減にはならないケースもあり、実績が少ないのが現状である。

シールド工法については、二次覆工省略とセグメント幅長尺化の回答が多かった。ただし、セグメント幅長尺化については、設備費など他のコストの増大により、トータルコストの縮減にはつなげていない場合もあるという回答も挙げられた。

表-4 自治体でのコスト縮減に関する取り組み

工 法		内 容	件 数
開削工法	人 孔	人孔間距離の長尺化	9
		人孔の小型化（塩ビ、マシンホールなど）	8
		組立人孔の採用	2
		鉄蓋設置条件の見直し	1
	土留め	簡易建て込み土留めの採用	2
		軽量金属支保工の採用	2
	リサイクル	再生材（合板、砕石など）の採用	11
		建設発生土のリサイクル	10
		浚渫砂の再利用	1
	設計基準	浅層埋設	9
		最小管径の見直し	7
		塩ビ管の採用	2
		砂基礎厚の見直し	2
		塩ビ柵の採用	2
		取付管設置延長の長尺化	1
オープンカットの採用		1	
道路復旧方法の見直し		1	
推進工法	長距離・曲線施工	15	
	小規模立坑より発進可能な工法の採用	2	
	鋼管圧入方式立坑の採用	2	
	斜向管による幹線管きよへの接続	1	
シールド工法	二次覆工省略、FRPM 管の採用	10	
	長距離施工	6	
	セグメント幅長尺化	2	
	マシンの他工事への転用	1	
	ボルトレスセグメントの採用	1	

(3) 維持管理コストの縮減

次に、維持管理コストの縮減のために望まれる項目として、以下のものが挙げられた。

- ・維持管理台帳の電子化
- ・簡易 TV カメラによる事前調査で、異常箇所を把握
- ・ライニング材の一元化
- ・更正管工法の基準化
- ・中・大口径管に対する更正管工法の開発

維持管理台帳の電子化については、すでに 10ヶ所の自治体が実用化しており、そのうちの 8ヶ所がコスト縮減効果があると回答している。また、管路の調査方法については、簡易 TV カメラによる事前調査で異常箇所を事前に把握し、通常の TV カメラによる調査コストを押さえる方法が望まれている。そのためには、精度の高い簡易 TV カメラの開発が必要となる。更正管工法に関しては、図-5 に示すように様々な工法があり、ライニング材の一元化や既設老朽管の耐久性評価方法の基準化、中・小口径管への対応など多くの要望が挙げられている。更正管工法は、路上工事縮減に有効な工法であり、開削工法に替わって今後実績が増加すると予想され、基準化によるコスト縮減効果は大きいと考えられる。

また、外部コストを縮減する方策として、建設発生土のリサイクルに関する回答が多かった。具体的には、建設発生土の相互利用情報のネットワーク化、現場で改良できる処理装置の開発などが挙げられた。さらに、特殊

な例であるが、発生土を船で運搬し、従来のダンプによる運搬に伴う騒音、排気ガスの削減がなされた事例もあった。一方、最近では抗菌剤を添加したコンクリートや下水汚泥のリサイクル材料を用いた下水管路も開発されており、建設段階で維持管理コストや外部コストも考慮した材料の選定評価を行うことも重要である。

4. 今後の課題

下水道工事に付随して発生する交通渋滞などの外部コストについては、現状では評価した事例がない。今後は、環境影響評価の

ために提案されている各手法の適用性を検討し、外部コストを精度良く定量化する手法の開発が必要である。また、既設老朽管の耐久性の評価や維持管理コストの定量化を図り、ライフサイクルコストを算定する手法の開発も必要となる。

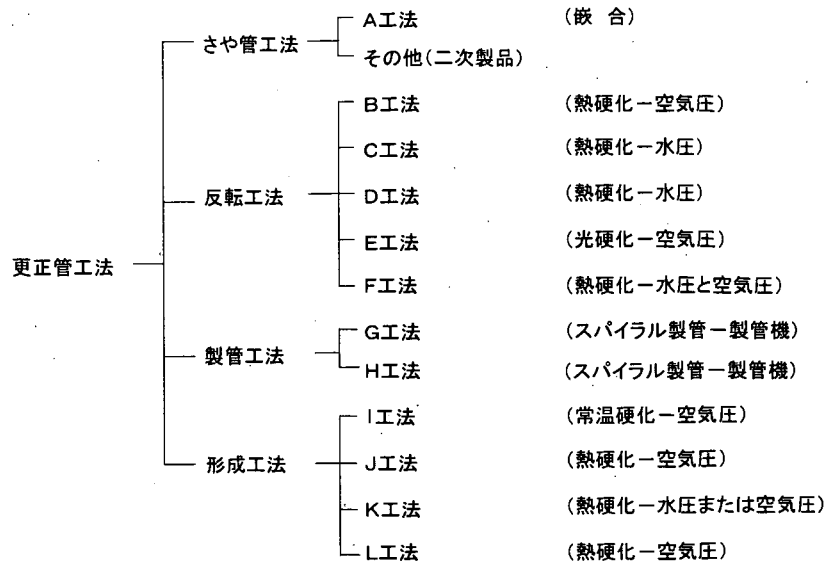


図-5 更正管工法の分類

4. 可撓性施設の合理的設計・施工法に関する調査

土質研究室 室長 恒岡 伸幸
研究員 古本 一司
大野 真希

1. はじめに

現在、硬質塩化ビニル管などのたわみ性管を道路下に埋設する場合、安全性への配慮から埋設深さなどについて、一定の制限が設けられており、許容たわみ率の基準も定められている。しかし、コスト縮減の観点からすると、過剰な設計となる場合もある。また、周辺地盤条件によっては、側方の地盤版力が現在の設計手法で予測される値よりも小さくなり、管の変形防止効果が十分に期待できないことも懸念されており、周辺地盤条件等を考慮した合理的な設計手法の確立が求められている。

一方、現地発生土とセメント、水等を混練することにより製造する流動化処理土は、共同溝など地中構造物の埋戻しに適用される事例が増えている。流動化処理土は、従来土材料で埋め戻す場合に必要であった締固め作業が不要で、固化後は地下水の浸食を受けない等の利点を持っている。この締固め不要の性質を利用することにより、従来の締固めのための作業スペースを省略し、掘削溝幅を小さくすることができ、さらには締固め作業の不確実性を回避することが可能となる。また、管の変形拘束効果が高いため、管厚が小さい場合でも変形を微小に抑えることができる。

このように流動化処理土を用いることにより、掘削溝幅の削減や管材の薄肉化が可能であれば、埋設コスト縮減を図ることができる。しかしながら、現在用いられている製造プラントの多くは規模が大きく、下水道管渠埋設のような比較的小規模な工事に適用する場合はコスト高になるという問題を持っており、流動化処理土を適用することによりコスト縮減の可能性を検討するとともに、小規模工事に対応した施工方法の開発を進める必要がある。

2. 調査目的及び方法

本調査は、たわみ量に関する設計手法の見直し、およびより精度の高いたわみ量算定手法についての検討を行うとともに、流動化処理土の新しい施工技術を開発することによって、可撓性管理設に関する合理的かつ経済的な設計・施工法の提案を行うことを目的として実施するものである。そこで、可撓性管のたわみ量の算定手法について模型実験などにより、その妥当性および合理的な算定手法について検討する。さらに、流動化処理土工法について、処理土の耐久性やコスト縮減効果に関する実験などを実施する。また、小規模工事に適した施工方法について検討するため試験施工などを行う。

3. 平成 10, 11 年度の調査結果

平成 10 年度は、可撓性管を地中に埋設した際に発生するたわみ量の合理的な算定手法について検討するために土槽内に塩化ビニル管を埋設し載荷実験を行った。さらに流動化処理土を埋戻し材として利用する場合、掘削幅削減、管材薄肉化の可能性について検討するため、同じく土槽内に流動化処理土を用いて塩化ビニル管を埋設し載荷実験を行い、管に発生するたわみ量などを測定した。

その結果、埋戻し材を十分に締め固めることができる場合は、たわみ量算定手法としてスパングラ式を適用することによってより多くの水平土圧を考慮することができ、コスト縮減の可能性があることが明らか

になった。ただし、施工条件によっては、十分な締固めを期待できない場合もあり、そのような場合は、道路協会式による算定手法が妥当であることが確認された。また、流動化処理土を埋戻し材として適用した場合、掘削幅や管厚を小さくした場合でも、管体が発生する変形は十分に小さいことから、掘削幅の削減や管材の薄肉化が可能であり、コスト削減の可能性があることが明らかになった。

また、原料土と固化材、水を混練するためのプラントが大きく、下水道管渠敷設工事のような比較的小規模な工事に対しては、コスト高になるという問題点を解決するため、平成 11 年度は、比較的小規模な工事を対象とした施工方法として、現場の掘削溝内において混練する方法に着目した。この場合、通常の流動化処理土と異なり、原材料として十分に細粒化されない土塊が多数含まれる可能性があるため、その場合の力学特性、および交通荷重などの振動に対する耐久性について実験的検討を行った。さらに、現場での施工性を向上させる方法として、石灰による事前処理を行うことで、混練性を向上させる方法を探り上げ、試験施工を行った。

繰返し載荷試験の結果、一軸圧縮強度が 200(kN/m²) 程度であれば、原料土中に含まれる土塊の割合が、繰返し強度に与える影響は小さく、沈下量も小さいことが確認された。

また、試験施工の結果、石灰による事前処理を行った場合とそうでない場合を比較すると、石灰による掘削土の脱水が進むことで、混練が容易となり、材料の混練時間が短縮され、施工性が向上していることが確認された。

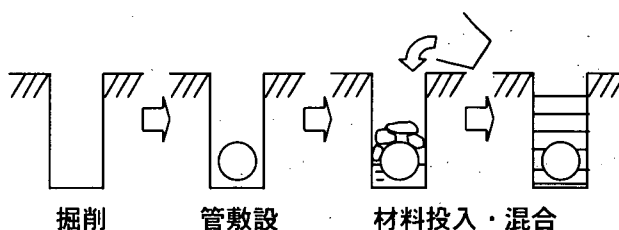


図-1 小規模工事に対応した流動化処理工法のイメージ

4. 平成 12 年度の調査内容

これまでの研究の結果、流動化処理土を用いて地中構造物を埋設することにより、従来よりも掘削溝幅等を削減でき、コスト削減につながる可能性があることが明らかとなってきた。そこで平成 12 年度は、流動化処理土を適用した場合の工費について、従来工法と比較するため試設計を行った。

また、前年度において、小規模工事対応型流動化処理工法について、石灰を用いた事前処理によって材料の混練が容易となり、施工性が向上することを確認した。しかしながら、かなりの強度増加が認められ、埋め戻しへの適用にあたっては、石灰の配合量について考慮する必要性が認められた。そこで本年度は、石灰が流動化処理土の強度に及ぼす影響について模型実験を行って検討した。

5. 流動化処理土工法による可撓性管埋設コストについて

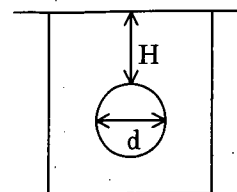
5.1 研究目的

流動化処理土については、締固め不要などの性質から地中構造物埋め戻しへの適用性は確認されているものの、従来工法に比べ工費が高いこともあり、普及が進んでいないの

表-1 試算ケース

Case	管呼び径 d(mm)	管外径 D(mm)	土かぶり H(m)	残土処分地 までの距離(km)
1	200	260	1	10
2	200	260	1	30
3	500	620	2	10
4	500	620	3	10
5	800	980	1	10
6	800	980	3	10

※管外径は、継ぎ手部の最大寸法



が現状である。そこで、流動化処理土を適用することで、掘削溝幅の縮小や残土のリサイクルを図りコスト縮減を実現できるかどうかを明らかにすることを目的として、地中構造物埋設工事モデルを設定して、試設計を行った。

5.2 試設計の概要

下水道管渠の一つとして用いられている硬質塩化ビニル管の埋戻し工事をモデル化し、良質土を用いて埋め戻す従来工法を用いた場合と、流動化処理工法を用いた場合とを比較検討した。検討ケースを表-1に示す。表に示すように、管径や土かぶり等を変化させた。また、掘削残土の処分場までの距離もパラメータとして加えた。

管径や土かぶりなどから決定した、埋設寸法、および掘削土量等を表-2に示す。流動化処理工法の試算においては、掘削幅および基床厚について、従来工法の場合と同じ一般的な値を採用したケースと、管径に一律30cmを加えた掘削幅（締固め作業などのためのスペースが不要のため）及び基床厚を一律10cm（十分な強度を期待できるため）としたケースについても検討を行った。

また、流動化処理土の原料土として、現場発生土を6割程度リサイクルするとし、現地で製造するものとした。残りの4割は処分場に搬出するものとした。

試設計により、埋戻し費および掘削土処理費などを算出した。流動化処理土の単価は、材料費、混練費、打設費等を含めて9,800円/m³とした。また、そのほかの単価は、公共工事設計労務単価等に拠った。発生土の処分費については、首都圏における費用と、それ以外の地区での場合の2種類について検討を加えた。

5.3 試設計結果

試算結果を表-3に示す。掘削工費には掘削土の運搬費用および処分費を含んでいる。

表3-1①、②によると、従来と同じ埋設条件の場合は、いずれのケースについても流動化処理工法による場合の埋戻しコストの方が高くなった。しかしながら、①と③では、一部を除いて安くな

表-2 掘削、埋戻し土量の一覧

①従来工法の場合

Case	掘削幅 (m)	基床厚 (cm)	掘削土量 (m ³)	埋戻し土量 (m ³)
1	0.7	0.1	0.95	0.90
2	0.7	0.1	0.95	0.90
3	1.1	0.2	3.10	2.80
4	1.1	0.2	4.20	3.90
5	1.6	0.2	3.49	2.74
6	1.6	0.2	6.69	5.94

②流動化処理土を用いて、掘削幅等を変えた場合

Case	掘削幅 (m)	基床厚 (m)	掘削土量 (m ³)	埋戻し土量 (m ³)
1	0.56	0.1	0.76	0.71
2	0.56	0.1	0.76	0.71
3	0.92	0.1	2.50	2.20
4	0.92	0.1	3.42	3.12
5	1.28	0.1	2.66	1.91
6	1.28	0.1	5.22	4.47

表-3 試算結果（延長1mあたり、円）

①従来工法の場合

Case	掘削工	土留工	埋戻工	合計1	合計2
1	4,790	39,358	4,881	49,030	46,650
2	5,731	39,358	4,881	49,970	47,590
3	15,609	52,670	15,205	83,484	75,729
4	21,144	52,670	21,178	94,992	84,487
5	17,552	63,089	14,844	95,485	86,765
6	33,654	63,089	32,220	128,963	112,243

②流動化処理工法の場合（従来と同じ埋設条件）

Case	掘削工	土留工	埋戻工	合計1	合計2
1	2,056	39,358	8,809	50,223	49,271
2	2,432	39,358	8,809	50,599	49,647
3	6,698	52,670	27,441	86,809	83,707
4	9,073	52,670	38,221	99,964	95,762
5	7,531	63,089	26,790	97,411	93,923
6	14,441	63,089	58,150	135,680	128,992

③流動化処理工法の場合（掘削条件を変えた場合）

Case	掘削工	土留工	埋戻工	合計1	合計2
1	1,644	39,358	6,943	47,946	47,184
2	1,945	39,358	6,943	48,247	47,485
3	5,403	52,670	21,565	79,638	77,136
4	7,390	52,670	30,581	90,640	87,218
5	5,749	63,089	18,699	87,537	84,875
6	11,276	63,089	43,787	118,153	112,930

※合計1 残土処分費が高い場合（大都市圏）

※合計2 一般的な残土処分費の場合

った。以下、各要因について検討する。

5.3.1 工事規模の影響

表-4 に掘削工費と埋戻工費の合計の増減率を示す。

土かぶりが小さい場合（ケース1,5）と比較すると、管径の大きいほど流動化処理土の利用が有利に働く傾向にある。しかし、土かぶりが大きい（ケース4,6）は、ほとんど差異はみられなかった。

また、同じ管径の場合（ケース3と4、ケース5と6）、土かぶりが大きいほど、流動化処理工法の利用は不利な方向に働く傾向にある。

従って、管径が大きく、土かぶりが小さい場合、流動化処理土の適用性が高いといえる。

5.3.2 残土処分費、処分地までの距離の影響

残土処分費の影響について検討すると、表-4 に示すように処分費が小さい場合は、流動化処理土の利用により、工費が、おおむね35%程度上昇した。

また、処分場の距離が遠い場合（ケース2）では、流動化処理土の適用による工費の増加が少なく、場合によっては、5%程度の増加であったことから、残土処分にかかる費用が高場合は、流動化処理土の適用可能性がある。

5.3.3 埋設条件の影響

表-4 において、(i)と(ii)を比較すると、(ii)において、ほとんどのケースで工費が減少しており、場合によっては、2割以上小さくなっていることがわかる。従って、流動化処理工法の普及に当たっては、埋設条件を見直すことも必要と考えられる。

5.4 まとめ

試設計の結果、管径や土かぶりの大きさによって多少異なるが、従来の埋設条件では、おおむね工費は増加傾向であることがわかった。

しかしながら、残土処分費が高い大都市圏での工事のような場合には、コストはそれほど変わらないことが明らかとなった。また、今回の試算では、掘削土の再利用率を6割としているが、これを向上させることにより、さらにコスト低下を期待できると考えられる。

さらに、埋設条件の見直しによって、工費が従来工法よりもむしろ縮減されていることが確認されたことから、流動化処理土の適用にあたって、施工の合理化を同時に図ることにより、従来工法よりもコスト縮減を図ることのできる可能性があると考えられる。

表-4 流動化処理工法を用いた場合の工費の増減率

(i) 通常の埋設条件の場合

ケース	増減率①	増減率②
1	112.3%	136.0%
2	105.9%	125.0%
3	110.8%	134.6%
4	111.7%	135.4%
5	105.9%	130.2%
6	110.2%	134.1%

(ii) 埋設条件を変えた場合

ケース	増減率①	増減率②
1	88.8%	107.3%
2	83.8%	98.7%
3	87.5%	106.1%
4	89.7%	108.6%
5	75.5%	92.0%
6	83.6%	101.4%

※ 増減率①…残土処分費が高い場合

※ 増減率②…一般的な残土処分費の場合

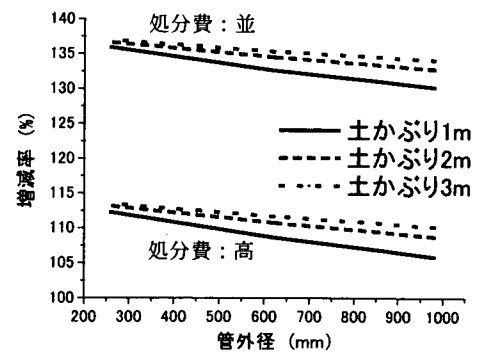


図-2 管外径と増減率の関係

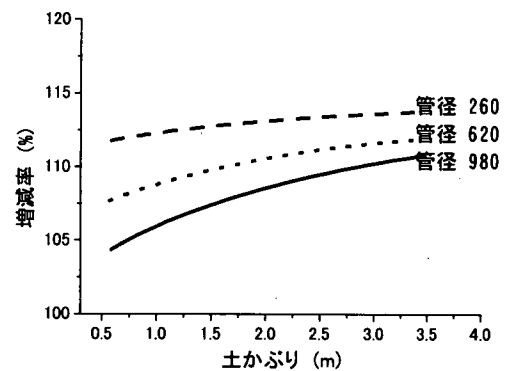


図-3 土かぶりと増減率の関係

6. 小規模工事対応型流動化処理土における石灰の処理土強度に与える影響について

6.1 研究目的

前年度、下水道管理設など比較的規模の大きくないの工事に対応した流動化処理工法について検討した。その中で、溝を掘削した後、石灰と掘削土を事前に混合することにより、固化材（セメント）と水、原料土の混合性が向上することを確認した。（図-4 参照）このとき、処理土の強度も大きく増加することも確認した。

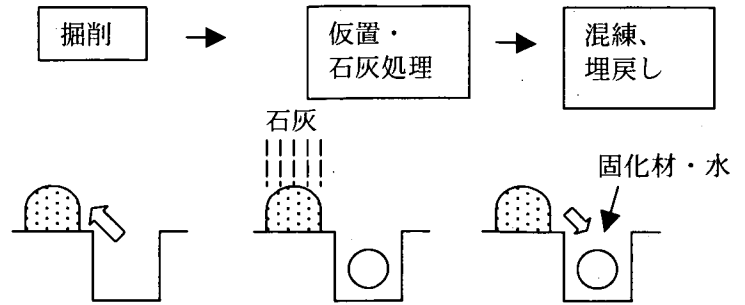


図-4 石灰による事前混合のイメージ

しかしながら、強度増加が必要以上であると、再掘削できないおそれがある。そこで、本年度は、石灰が処理土強度に及ぼす影響について検討した。

6.2 実験方法

石灰により事前処理した場合の処理土の強度について調査するために、処理土の CBR 試験を実施した。試験ケースを表-6 に示す。また、原料土の物理特性を表-5 に示す。配合は、石灰を混入しない場合に、一週間養生した CBR 値がおおよそ 5% 程度になるように調整した。表に示すように、原料土の種類、セメント量、石灰量を変化させた。供試体は、原料土をいったん石灰と混合させ 2 時間放置したのちセメントと水を混合して作製した。

6.2 実験結果

CBR 試験値を表-6 に併せて示す。表に示すように、セメントを石灰と置き換えると関東ロームのケースを除き CBR 値はおおむね低下した。特に粘性土でその傾向は顕著であり、石灰を混ぜることにより、むしろ強度を期待しにくくなることが確認された。関東ロームの場合、石灰により 75% 以上置換すると、十分な強度を得ることはできないが、50% 程度以下であれば、むしろ強度が増すという結果が得られた。

表-5 土質試料の物理特性

	関東ローム	山砂	粘性土
密度(g/cm ³)	2.736	2.730	2.542
自然含水比(%)	93.7	18.6	220.8
粗砂分(%)	1.0	15.0	1.0
細砂分(%)	8.0	74.0	10.0
シルト分(%)	36.0	16.0	28.0
粘土分(%)	55.0	10.0	64.0

以上の結果から、石灰により事前処理する場合には、原料土によって強度発現に違いが出るため、配合設計においては十分留意する必要があることが確認された。

表-6 試験ケースと CBR 試験結果

ケース	原料土の種類	配合 (1 リットルあたり、g)				CBR (%)	
		原料土	セメント	石灰	水	一週	四週
1	関東ローム	900	193	0	420	4.9	6.4
2	関東ローム	900	153	40	420	16.9	26.3
3	関東ローム	900	113	80	420	6.1	13.1
4	関東ローム	900	73	120	420	0.8	1.5
5	山砂	1426	40	0	304	8.3	9.8
6	山砂	1426	27	13	304	7.9	10.9
7	山砂	1426	20	20	304	6.8	11.3
8	山砂	1426	13	27	304	4.9	10.7
9	粘性土	900	160	0	133	6.6	10.2
10	粘性土	900	120	40	133	1.9	3.4
11	粘性土	900	80	80	133	0.6	1.1
12	粘性土	900	40	120	133	0.2	0.4

7. 平成 12 年度研究結果のまとめ

平成 12 年度は、可

とう性管の埋め戻しへ流動化処理工法を適用した場合のコストについて検討するため、モデルケースを設定して、試設計を行った。また、小規模工事に対応した流動化処理工法において、石灰により事前混合する場合の石灰の強度に及ぼす影響について調査するために CBR 試験を行った。その結果以下のことが明らかになった。

①流動化処理土を埋設管の埋め戻しに適用する場合、従来工法と同じ埋設条件の場合、コスト高になる傾向にあるが、掘削幅などを見直すこと等により、コスト縮減の可能性があることが確認された。

②小規模工事に対応した流動化処理工法において石灰とセメントを置き換えることにより強度は低下傾向にあることが明らかになった。ただし、関東ロームの場合は、強度増加が認められるなど、土質によって強度に与える影響が大きく異なることが確認された。さらにデータの蓄積を図る必要がある。

8. まとめ

可とう性下水道管の埋設に関する合理的な設計手法や埋設手法について検討を行ってきた。その結果、以下のことが明らかになった。

① 良質な砂や碎石、改良土を用いて十分な締固めを期待でき、矢板引抜きなどの影響がないような場合においては、スパングラード式を用いてたわみ量を算出することにより、コスト縮減を図ることができる。

ただし、矢板引き抜きの影響や、周辺地盤、締固めの程度を正確に管理できない場合もあり、道路協会による計算値程度の変形を見込むことが必要な場合もある。

② 流動化処理土は管拘束効果が大きく、矢板などの側方の影響を受けない。この性質を利用して、掘削幅を小さくすることで、埋設コストの縮減可能性があることが確認された。

③ 流動化処理工法を下水道管渠のように比較的規模の大きくない工事に適用させるため、現地の掘削した溝の中で作製する小規模工事対応型流動化処理工法を提案した。この場合にの土塊混入による力学特性は、混入しない場合とほとんど違いはないことが確認された。また道路下のような繰り返し荷重が載荷されるような場合においても、発生する沈下量は小さく、従来工法と同様に適用できる。また、掘削土と石灰を事前混合することで、混練が容易となることから、施工性向上の可能性があると確認された。

参考資料

- ・道路土工—カルバート工指針、平成 11 年 3 月、日本道路協会
- ・矢板引抜き時の可撓性管の変形挙動および変形防止工法に関する調査、平成 8 年 1 月、土木研究所資料 3397 号
- ・発生土利用促進のための改良工法マニュアル、平成 9 年 12 月、(財)土木研究センター
- ・流動化処理土の利用技術に関する共同研究報告書—流動化処理土利用技術マニュアル—、平成 9 年 3 月共同研究報告書第 172 号

5. 下水道施設用複合材料の試験方法に関する調査

化学研究室 室 長 明嵐 政司
主任研究員 西崎 到

1. 研究目的

近年、下水道施設に用いられている複合材料に、厳しい腐食環境によると思われる損傷事例が報告されており、早急な対応が必要とされている。複合材料は腐食環境に比較的強い材料であるが、高濃度の酸と応力などの複合的な過酷環境では劣化することがあると考えられている。本課題では、このような下水道環境での複合材料の耐久性評価のための試験方法の作成・改良を目的として、耐久性に関する調査・試験を行った。

2. 研究方法

FRPM管を用いて、JIS K 7034に準拠した酸性条件下におけるリラクゼーション試験を実施した。また、現在のFRPM管の長期応力に関する耐久性試験方法の長所・短所を比較検討した。これらの結果を基に試験方法改善案及び新しい試験方法案をとりまとめた。

3. JIS K 7034による試験の実施

3. 1 試験概要

平成11年度からJIS K 7034によるFRPM管の扁平負荷における耐薬品性試験を継続して実施した。クリープ、リラクゼーション試験は温度を上げることで促進させることができるとされている¹⁾。このため、平成12年度には高温条件での試験促進を目指し、新たに、23℃と50℃の2つの条件で追加試験を実施した。この試験は基礎的なデータを得る目的から、硫酸などの薬品を使用せずに、純粋なリラクゼーション試験として実施した。

3. 2 試験方法

試験方法はJIS K 7034に準拠した。試験装置は図-1に示すものを用いた。供試体は表-1に示す2種類のFRPM管である。高温条件の試験にはFRPM管Aのみを用いた。試験液は3.6Nの希硫酸とした。

3. 3 試験結果

3. 3. 1 硫酸を用いた試験

硫酸を用いた試験の結果を図-2および3に示す。いずれの場合も殆どの供試体は試験開始後数時間以内に破壊するか、10000時間以上破壊しない場合が多く、良好な「時間-破損時間線図」を得ることは困難であった。破損までの時間は、JIS K 7034では10～6000時間内で

表-1 供試体

供試体名	特徴
FRPM管A	φ 250mm, フライアントインディング成形
FRPM管B	φ 250mm, 真空成型法

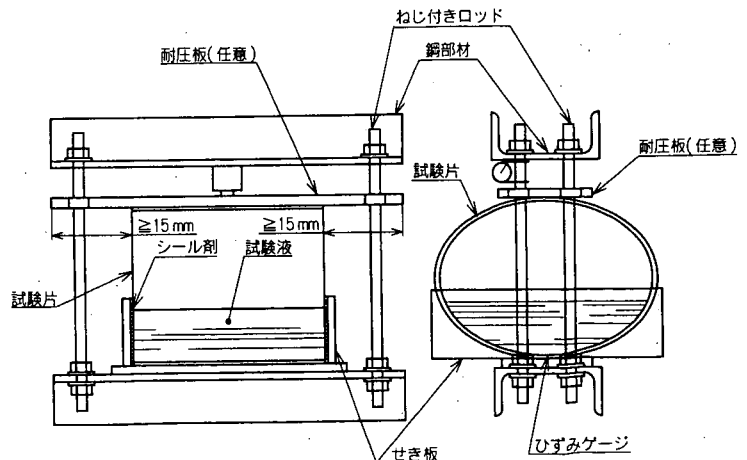


図-1 FRPM管の扁平負荷における耐薬品性試験装置(JIS K 7034)

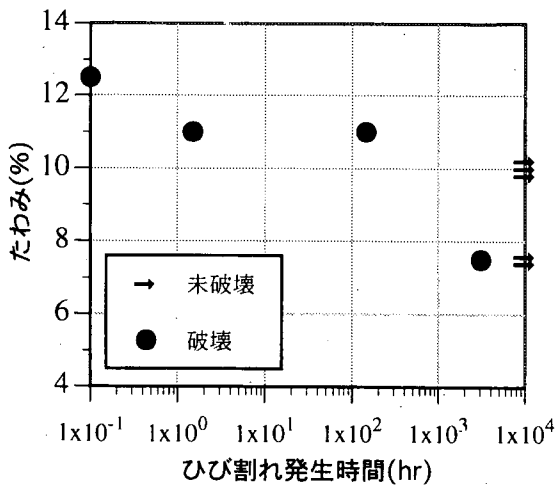


図-2 JIS K 7034による試験結果
(FRPM 管 A, 3.6N-硫酸, 23°C)

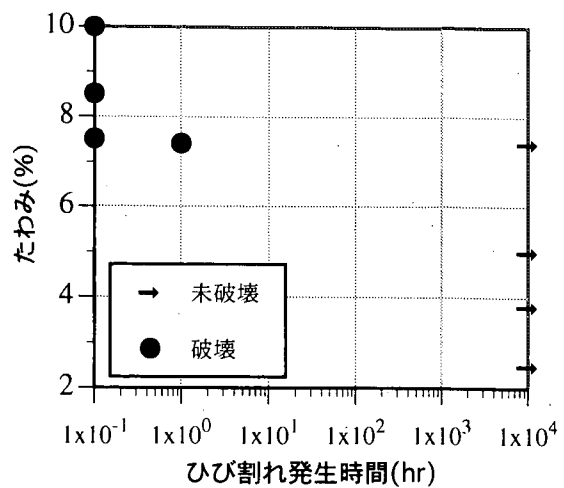


図-3 JIS K 7034による試験結果
(FRPM 管 B, 3.6N-硫酸, 23°C)

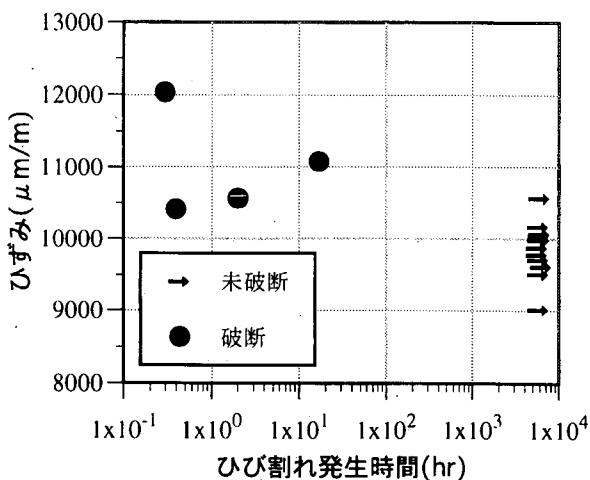


図-4 リラクゼーション試験結果
(FRPM 管 A, 大気中, 23°C)

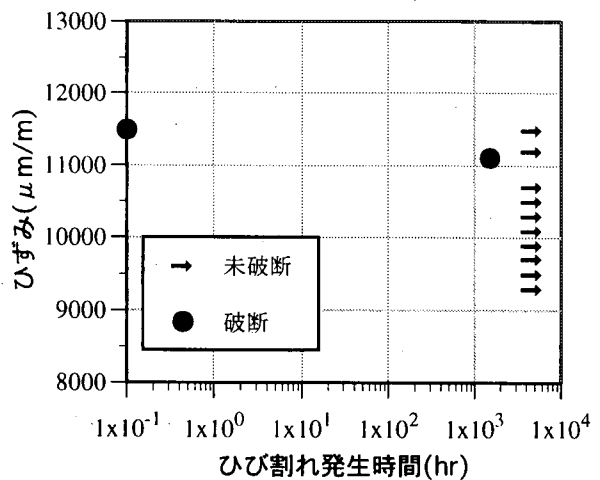


図-5 JIS K 7034による試験結果
(FRPM 管 A, 大気中, 50°C)

7個以上のデータが求められているが、この範囲に対応するたわみ範囲はかなり狭い。図-2では2個、図-3では1個も存在しない。また、製品のばらつき、寸法計測上の誤差、導入たわみ（ひずみ）の誤差などの誤差要因が多いため、ばらつきの大きな試験となっていると考えられる。JIS K 7034では終了点をウィープ損傷(管壁からの液漏れ)と指定しているが、この観測は困難であり、実際の構造物で認められる損傷はひび割れであるので、ひび割れ発生を終了点とするべきである。JIS K 7034では試験液に関する規定は無い。本試験では3.6N(1:10)硫酸(pH -0.6)を使用した。

3. 3. 2 温度を変えた試験

23°Cと50°Cにおけるリラクゼーション試験結果を図-4及び5に示す。前項の試験ではたわみ量測定にノギスを用いたが、試験結果のばらつきが大きいため、より正確にたわみ量を測定するために歪みゲージを用いた。しかし、得られた結果は、ノギスによる測定(図-2および3)と大差のないものであった。供試体はごく短時間に破損するか6000時間以上経過しても破損しないものが殆どであり、相関性の高い「時間-破損時間線図」を得るには至らなかった。温度による促進効果についても、認められなかった。

3. 4 試験の問題点のまとめ

JIS K 7034をFRPM管に適用するにあたっての注意点・改良点を以下にまとめる。

(1) 規定の時間範囲(10時間~6000時間)以内で破壊にいたる、初期導入たわみ或いは導入ひずみの範囲は非常に狭い。予備試験などでこの範囲を把握するとともに、供試体寸法、たわみ量或いはひずみ量をできる

だけ正確に導入することが必要であろう。

(2) 試験終了点はウィーブ損傷ではなくひび割れ発生時とする。

(3) 試験液は希硫酸を用いる。

これらの点に留意することにより試験を実施しようと考えられるが、それでも、以下の様な問題点が残されている。

(1) 試験期間は10000時間を要するものがあるため、1年以上かかる。予備試験をいれればさらに時間が必要である。

(2) 本試験では最小クラスの大きさの供試体を用いたが、実際に多く使われるのはφ600～800mmと大きい。さらに供試体数は最終的に18点以上と規定されているため、試験実施に広大な面積を必要とする。

(3) 希硫酸を開放に近い状態で多量に用いるため、管理上の問題を解決する必要がある。

(4) 供試体数が18点以上と多く求められていることから分かるように、比較的ばらつき要因が多い試験である。(通常、FRPの物性試験では5個が標準的である。)

3. 5 今後の課題

本試験からは希硫酸の濃度に関する情報は得られなかった。また、温度を上げることによる試験時間の促進を目指したが、促進効果は認められなかった。

4. FRPM管用の長期応力-耐薬品性試験方法の種類と概要

前章ではFRPM管の試験方法としてJIS K 7034を実施したが、この他にもFRPM管の長期特性を試験する方法がいくつか知られている。ここでは、それらの方法を比較検討し、FRPM管の試験方法としての適用性と試験方法の改善点を検討することとした。表-2にそれらの試験方法の特徴をまとめた。JIS K 7034と同様に、複数の供試体に長期荷重をかけ、破断までの時間を調べる方法として、JIS K 7039がある。JIS K 7034が変位を一定に保つリラクゼーション試験であるのに対し、JIS K 7039は荷重を一定に保つクリープ試験である。JIS K 7039の試験装置を図-6に示す。応力緩和によって荷重が抜けていくリラクゼーション試験よりも、荷重が一定でたわみ量が増えていくクリープ試験の方が、良好な結果を得やすい可能性がある。リラクゼーション試験とクリープ試験の差以上にJIS K 7034とJIS K 7039が異なるのは、試験液と浸せき方法である。JIS K 7039の試験液は水と規定され、これ以外の試験液は想定されていない。下水道用FRPM管の損傷事例調査(平成11年度)では、殆どの損傷事例はpH1程度の強い酸性条件下で起きており、酸性条件がひび割れ発生を促進させていることは明らかである。このため、JIS K 7039通りの水中クリープ試験で

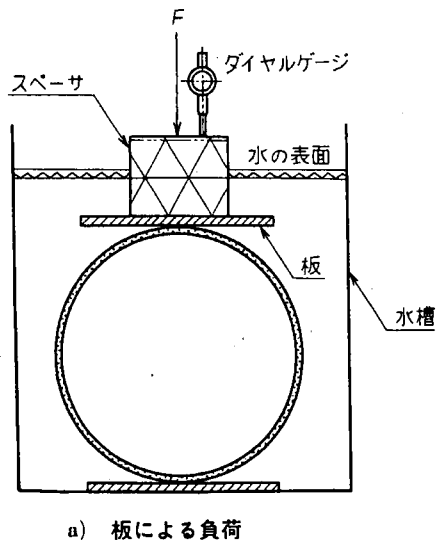


図-6 JIS K 7039の試験装置

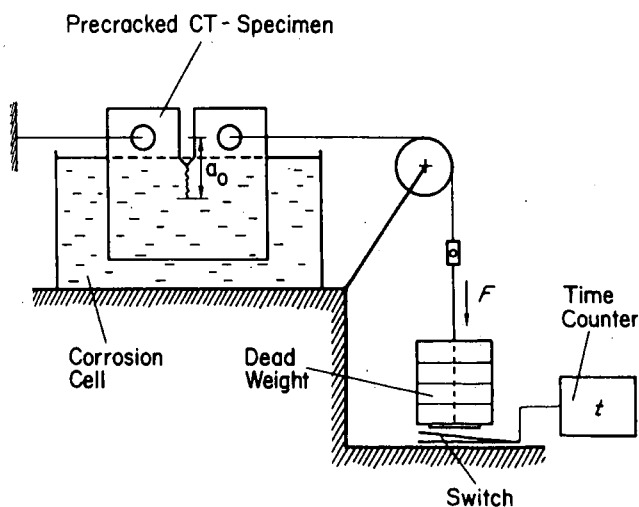


図-7 応力腐食割れ試験の試験装置の例²⁾

表-2 FRPM管の長期応力に関する試験方法一覧表

名称	概要	下水道管への適用上の長所	試験方法の問題点	下水道管への適用上の課題
JIS K 7034:1998 (ISO10952:1997) 「プラスチック配管系-GFRP管-偏平負荷における管内面の耐薬品性の求め方」	ASTM D 3681-96の焼き直し。管を一定の変形を保った状態で、内部に試験溶液を入れ、破壊までの時間を調べるリラクゼーション試験方法。(図-1 参照)	試験条件が下水道管の条件に近い。	試験期間は最短でも1年を越える。 良好な破断時間-歪み線図を得られない場合がある。 広大なスペースを長期間確保する必要がある。 酸溶液の管理上の問題。	試験方法で定められていない以下の項目を下水道環境に合わせて設定する必要がある。 ・試験溶液 ・試験温度 ・試験終了をウィープ損傷ではなくひびわれの発生とする。
JIS K 7039:1998 (ISO10471.2:1997) 「プラスチック配管系-GFRP管-湿潤状態下における管の小器官極限曲げひずみ及び長期間極限相対変位の求め方」	管を水中に浸せきし、一定の荷重を載荷し、破壊までの時間を調べるクリープ試験方法。(図-6 参照)	JIS K 7034よりも試験結果を得やすい可能性がある。	酸ではなく水であるため、腐食環境での水管の破損事例とは条件に隔たりがある。 広大なスペースを長期間確保する必要がある。	水を酸に変更することは可能であるが、試験装置、薬品管理上の問題を解決する必要がある。またこの場合には、管の外側からの浸食が起きるため、下水管としては過剰な条件になる。
応力腐食割れ試験 (規格化されていないが、文献でたびたびGFRP板に実施されている。2),3)	クラックを導入した板状FRPに、クラックを引き離す方向に荷重をかけながら腐食溶液に浸せきし、クラックの成長を調べる試験方法。(図-7 参照)	応力腐食環境という点では下水環境に近い。 小片を用いることで試験に必要なスペースが少なく済む。	板状試験片と管状試験片の相関性があるか不明。 載荷条件が異なる。	FRPM管に適した試験方法への改良が必要。

注：この他、JIS K 7035はJIS K 7039と同様の装置で試験片1個のみに定荷重を加え、変位を計ることでクリープファクターと長期偏平剛性を求めるものである。

は、下水道用FRPM管の試験としては、適用できないものと考えられる。試験液を酸へ変更すると管の外周が酸にさらされてしまうため、FRPM管への腐食条件が過酷になる。FRPM管の内面の耐酸対策は必ず行われているが、外面の耐酸性は使用上特に必要ないため、耐酸対策がとられていないことがあるためである。以上の点からクリープ試験の適用が効果的である可能性があるものの、JIS K 7039の下水道用FRPM管の酸性腐食環境でのひび割れ損傷に関する試験方法としては、改善すべき点が多い。

GFRPの酸性条件下のひびわれは、金属材料の応力腐食割れに似た現象であるので、GFRPの「応力腐食割れ」として、亀裂進展の早さや、破壊メカニズムなどの研究が1980年代より行われている。これらは主に化学プラント配管などで使われる材料であるが、腐食環境としては下水道環境に比較的近いと考えることができる。GFRPの「応力腐食割れ」試験方法の公的な規格はないが、図-7のような装置を使った酸性条件下におけるクリープ試験が典型的な方法である。図-7のように管から切り出した小片を用いることができれば、試験に必要なスペースを節約することができ、比較的容易に試験点数を増やすことができる。一方切り出した試験片と管状試験片との試験結果に相関性を検討する必要がある。また、図-7の装置の場合の載荷条件と、実際のFRPM管損傷の載荷条件の相違についても検討する必要がある。

5. 下水道用FRPM管の応力酸性条件下での耐久性試験方法の検討

前章までの検討結果から、管から切り出した小片を用いる試験と管状供試体を用いたクリープ試験の2通

りについて、下水道用 FRPM 管の応力酸性条件下での耐久性試験方法を検討した。

5. 1 管から切り出した小片を用いる試験の検討

5. 1. 1 管の圧縮特性と切出試験片の曲げ特性

(1) 概要

管状供試体と管から切り出した小片の特性の相関を調べるため、管の圧縮試験と切出試験片の曲げ試験を実施した。

(2) 方法

1種類のFRPM管(表-1のFRPM管Aと同種のもの)について、φ250mm, φ400mm, φ700mm, φ1000mmの4つの口径のものを長さ300mmに切断し、管状供試体とした。供試体はそれぞれ3体とした。また、φ250mm, φ400mm, φ700mmについて、同じFRPM管から、幅(管長方向)15mm(φ700mmでは幅20mm)、長さ(円周方向)を厚さの16倍+20mm以上に切り出したものを、切出試験片とした。切出試験片はそれぞれ5本とした。管状供試体は板による圧縮試験(载荷速度10mm/min)、切出試験片は図-8のように3点曲げ試験(载荷速度2mm/min)を行った。破断時のひずみを測定するために、管状供試体には管内部上下及び管外部側面に、切出試験片は载荷下面中央に大ひずみ用の歪みゲージを貼り付けた。

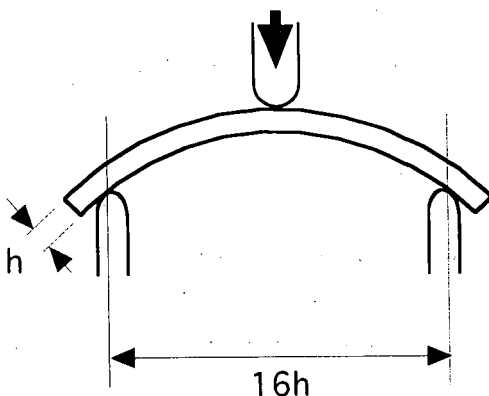


図-8 切出試験片の载荷試験概略図

(3) 結果

試験結果を表-3に示す。最大荷重は管径が大きいほど大きく、切出試験片の最大荷重は管状供試体の1/10程度であった。一方、破断時のひずみは、管径の影響は殆どなく、また、切出試験片の値は管状供試体の値と大差は見られなかった。本試験結果から、破断時ひずみは管径による差が少なく、切出試験片による試験結果から、管状での破壊時ひずみを得ることができると思われる。

表-3 管の圧縮試験結果と切出試験片の曲げ試験結果

管径 (mm)	最大荷重(kN)		破断時ひずみ(mm/m)	
	管状試験体	切出試験片	管状試験体	切出試験片
250	12.4	0.63	17.9	18.6
400	19.4	1.44	19.0	18.9
700	22.0	3.12	18.0	19.4
1000	30.0	-	16.6	-

5. 1. 2 切出試験片によるFRPM管の応力酸性条件下での耐酸性試験方法案

前節の結果から、ひずみを管理することにより、切出試験片の応力条件下による耐酸性試験から、管材のデータを得られる可能性があることが分かる。そこで、切出試験片を使って応力条件下による耐酸性を簡易に試験する方法を検討し概要を以下にまとめた。

(1) 装置

図-9(クリープ試験)に示す装置による。類似の構造でリラクゼーション試験用に製作することも可能である。载荷点中央にひずみゲージを貼り付け、導入ひずみ量を正確に記録するため、荷重或いはたわみは正確に表示する必要はない。

(2) 試験液

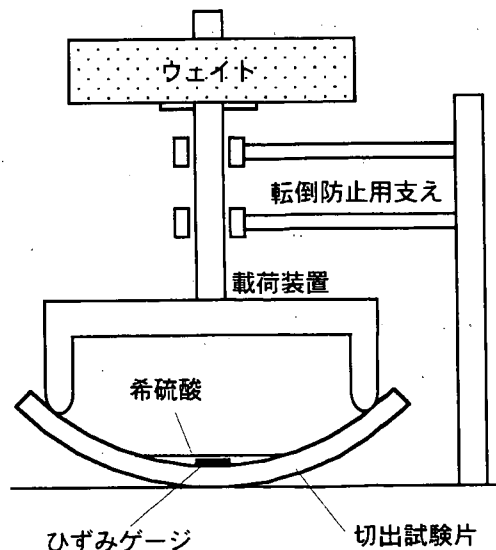


図-9 切出試験片のクリープ試験装置概略図

試験液は希硫酸を用いる。断面や管外面が試験液に触れないようにする必要がある。コーキング材でシールして全体を試験液に浸せきする方法もあるが、载荷裏面を上にして希硫酸を少量溜めておく方が、より容易になると考えられる。

(3) 問題点

本試験法は考案されて間もないため、十分なデータが得られていないが、それ以外に、ひずみゲージを貼り付ける部分が試験部分となってしまうため、ゲージ貼り付け用接着剤が試験結果に影響する恐れがある。

5. 2 管状供試体を用いたクリープ試験

JIS K 7039 に以下のような変更を行うことにより、FRPM 管の一定荷重载荷条件下での耐薬品性試験方法とする。

- (1) 試験液を水から希硫酸に変更する。
- (2) 試験液は JIS K 7034 のように (図-1) 管内部に少量を溜めるようにする。
- (3) 管上部内側でひずみ量を記録する。
- (4) ひび割れ発生までの時間を試験期間とする。

6. FRPM 管の酸性条件下での長期荷重に対する安全率

試験の結果は、長期間にわたる供用 (例えば 100 年後) でもひび割れ破損の発生しない、許容ひずみ量として表される。同種の管状供試体の破断時ひずみがほぼ同じであるという前章の結果も考慮に入れると、酸性条件下での長期荷重に対する安全率として表すことも可能である。安全率は式 (1) で表される。

$$F_{acid, load} = \varepsilon_1 / \varepsilon_0 \quad (1)$$

ここに $F_{acid, load}$: 酸性条件下での長期荷重に対する安全率
 ε_1 : 許容ひずみ量
 ε_0 : 破断時ひずみ量

7. まとめ

下水道用複合材料管の応力・酸性条件下における損傷について、試験方法に絞った検討を行った。JIS K 7034 を実際に実施したが、この試験方法はかなり困難であり、いくつかの改善すべき点があることを示した。また、管からの切出試験片による試験方法の提案と、JIS K 7039 の改良による FRPM 管の一定荷重载荷条件下での耐薬品性試験方法を提案した。

参考文献

- 1) FRP 構造設計便覧(強化プラスチック協会, (1994)p.44
- 2) Friedrich, K.; "Stress corrosion crack propagation in glass fibre reinforced/thermoplastic PET", Journal of Materials Science Vol. **16** (1981) pp.3292-3302
- 3) Price, J. N., Hull, D.; "Propagation of stress corrosion cracks in aligned glass fibre composite materials". Journal of Materials Science Vol. **18** (1983) pp.2798-2810

6. 下水道工事積算の体系化に関する調査

建設システム課 課長 松井 健一
主任研究員 高村 和典

1. はじめに

既存の積算に関する大系は、長年の事業執行を集大成したもので精緻なものとなっているが反面細分化・複雑化したため分かりにくい体系となっている。また、WTO政府調達協定の合意など今後我が国への建設市場への外国企業の参入対象が拡大していく情勢にあり、これを念頭においた事業プロセスの見直しが課題となっている。昨今、公共事業の執行に対する批判が社会問題化しており、平成5年12月の中央建設業審議会においても透明性・客観性・妥当性の向上に向けた入札・契約制度の早急な改革について提言がなされている。さらに、平成12年11月に成立した「公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律」では、入札契約に関する情報の公表等をすべての発注者に対して義務づけることとしている。

新土木工事積算大系(以下「新大系」という。)は、公共土木工事の請負契約の透明性向上、契約内容の明確化、建設事業の国際化に対応し、また、発注者側の積算業務の効率化に資するため、契約・積算に関する手法や図書類を密接に関連づけながら体系的改善を図る一連の整備大系である。新大系の中核的整備項目である工事工種の体系化は、公共土木工事を請負施工に付する場合の工事内容について、階層別に工種を細分類すると共に、工種用語の標準化及び契約等に係る表示単位を標準的に規定することであり、河川・道路事業などの一般土木事業分野に続き下水道事業分野についても11年度にほぼ概成している。¹⁾

しかし、工事工種体系をもとに展開させる具体的な積算・契約関連図書類の整備・体系化(大系用語定義集の作成、下水道土木工事共通仕様書の作成・体系化、下水道積算基準書の体系化)は実施されておらず、新大系の本格的、利便性のある運用環境は整備されていない。

本研究は、下水道分野の上記積算・契約関連図書類の作成・体系化を行うことを目的とする。12年度は、図書類の作成・体系化の一環として下水道土木工事共通仕様書(案)、下水道大系用語定義集の作成及び現在下水道の積算基準書となっている「下水道用設計標準歩掛表」の工事工種体系に沿った再編成に着手した。

2. 研究方法

図-1に本研究の研究手順を示す。12年度は、下水道積算・契約関連図書類の作成・体系化の一環として下水道土木工事共通仕様書のうち処理場ポンプ場分野の整備を行うとともに現在下水道の積算基準書となっている「下水道用設計標準歩掛表」について工事工種体系化に沿って再編成を行った。

また、下水道大系用語定義集の作成を行った。

3. 研究結果

3.1 下水道土木工事共通仕様書の作成

① 共通仕様書作成の方針

すでに整備が終わっている一般土木分野(河川、道路等)の共通仕様書は、工事工種体系のレベル1~4の階層構成に

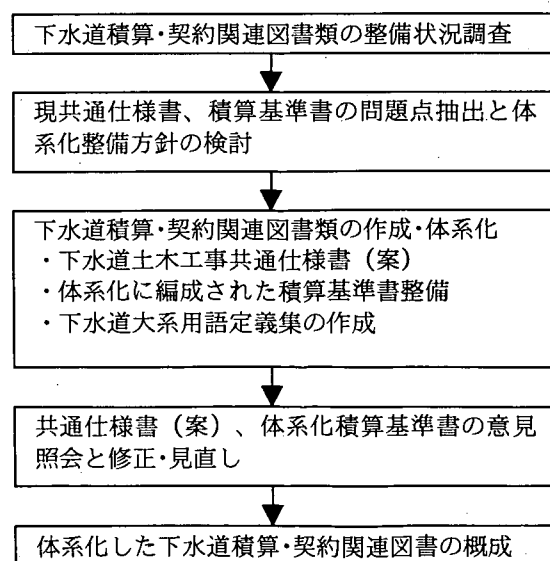


図-1 研究のフロー

合わせた編・章・節等の目次構成により、各体系レベルの仕様・品質が明確に明示できる形となっているため、下水道分野も同じ構成で編集することとした。レベル1～4の階層に編成された「国土交通省土木工事共通仕様書」の記載方法を表-1に示す。

策定後の下水道土木工事共通仕様書が、地方自治体において活用される形態には以下の2つが考えられる。

- イ) 一般土木の共通仕様書に下水道編として追加する形式で用いられる。
- ロ) 下水道土木工事共通仕様書として独自に用いられる。

「下水道土木工事共通仕様書」の整備に当たっては、策定後の活用形態を踏まえて、下水道事業で行う工事が一般土木分野の工種も多く利用している（例えば、土工、土留工、舗装等の付帯工等）点や「国土交通省土木工事共通仕様書」²⁾が地方自治体に広く利用されていることなどを考慮し、下水道編として下水道固有の工種と国土交通省仕様書に記載されていない工種（推進工種など）を追加整備する形で、「下水道土木工事共通仕様書」を整備することとした（図-2）。

また、下水道工事共通仕様書が独自に使用される場合を考慮し、国土交通省土木工事共通仕様書の中で共

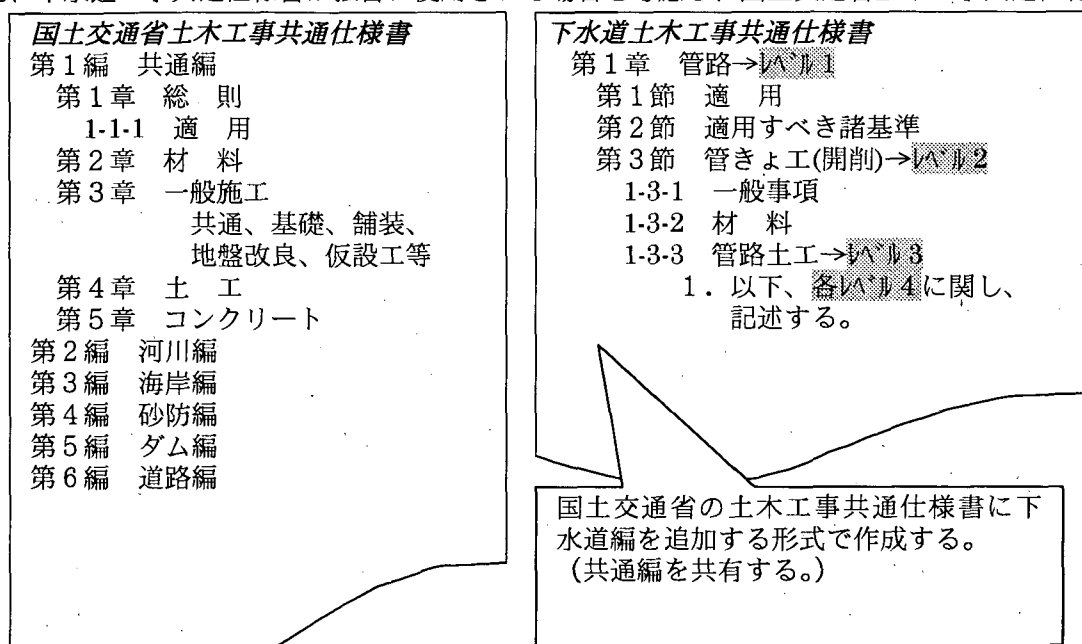


図-2 下水道共通仕様書の運用方法と目次構成

通編のみを参照することにより運用可能な形態とした。

②下水道土木工事共通仕様書の記述方針

地方自治体の共通仕様書類を収集・分析した結果、以下のような問題点が見られ、今回体系化した共通仕様書を作成する際の記述方針として考慮することとした。(表-2参照)

1) 契約上の各者権限の明確化

工事仕様書は工事目的物の品質に係る規定を記述したものであるが、それと同時に契約上の各者権限（主任監督員、監督員、請負者等）及び契約条件の明確化を図る必要がある。本仕様書の作成に当たっては、「国土交通省土木工事共通仕様書」に準じ、「指示」「承諾」「提出」等の行為の定義を明確にすると共に、「設計図書」「契約図書」に記述されるべき工事仕様については、「…は、設計図書による」等の表現により、仕様の明確化を図ることとした。

2) 品質確保に係わらない行為の施工任意性の確保

一般的に、仮設、施工方法その他工事目的物を完成させるために必要な一切の手段は請負者とその責任において定めるものとされているが、自治体の仕様書では、仮設構造物に関し施工方法・使用機械等を規定し

表-1 仕様書の標準記載方法

第○編 △△編
第○章 レベル1

第1節 適用

1. 本章は、編名工事におけるレベル2、……、レベル2その他これらに類する工種について適用するものとする。
2. レベル2は、第1編第○章第△節レベル2の規定によるものとする。
3. 本章に特に定めのない事項については、第1編共通編の規定によるものとする。
4. 請負者は、○○の施工に際し、△△の対策を講じなければならない。
5. ……

第2節 適用すべき諸基準

請負者は、**設計図書**において特に定めのない事項については、下記の基準類及びその他の関係基準等によらなければならない。

- 学会 △△示方書（平成○年△月）
- 建設省 ××△指針（昭和△△年□□月）
- …… ……

第△節 レベル2

○-△-1 一般事項

1. 本節は、レベル2としてレベル3……、レベル3その他これらに類する工種について定めるものとする。
2. 請負者は、○○の施工については、**施工前**に△△を行わなければならない。
3. 請負者は、レベル2の施工にあたって、**△△示方書**第×章○○工の規定によらなければならない。これ以外の施工方法による場合は、**施工前**に監督職員の**承諾**を得なければならない。
4. **路床**とは盛土部においては、盛土仕上り面下、切土部においては掘削仕上り面下1 m以内の部分を用いるものとする。
5. ……

(○-△-2 材料)

1. ××は、次の規格に適合したものまたは、これと同等以上の品質を有するものでなければならない。
 - JIS A …… (……)
 - JIS G …… (……)
2. 請負者は、××の施工に使用する材料については、**施工前**に監督職員に品質証明書を**提出**し、**承諾**を得なければならない。
3. ……

○-△-3 レベル3

1. 請負者は、レベル4の施工については、××を行わなければならない。
2. レベル4の施工については、第○編○-△-□ ××工の規定によるものとする。
3. 請負者は、レベル4の施工については、**△△示方書**第×章○○工の規定によらなければならない。これ以外の施工方法による場合は、**施工前**に監督職員の**承諾**を得なければならない。
4. 請負者は、○○にあたり……が140kg/cm²(13.7N/mm²)以上としなければならない。
5. 請負者は、○○にあたっては、××しなければならない。
6. ……

○-△-4 レベル3

1. レベル3の施工については、第○編○-△-□ ××工の規定によるものとする。
2. ……

ている例がみられる。本仕様書の作成では、このような条項は請負者の施工任意性を著しく阻害するため、記述しないこととした。ただし、工事目的物の施工方法に関し、その行為自体が品質確保するための手段である場合は、当然施工方法についても共通仕様書に記述されるものである。

表-2 地方自治体における下水道工事仕様書の問題点例と仕様書体系化の記述方針

記述方針	基本方針	地方自治体における記載例	仕様書体系化における修正案
契約上の各者権限の明確化	監督職員（主任監督員、監督員等）の権限を明確にし、設計図書の記述の明確化、監督職員と受注者間の「指示」「承諾」「協議」等の行為を明確にする。	「配管完了後、監督職員の指示する場合、所定の圧力を保持する水圧試験を行わなければならない。」	この仕様書では、どのような場合監督職員が水圧試験を指示するのか明確でないため、以下のように修正する。「配管完了後、設計図書に基づき所定の……」
品質確保に関わらない行為の施工任意性の確保	工事目的物となる工種の品質に係わる施工方法等を除き、受注者の施工任意性を確保するため仕様書での作業方法に関する記述はしない。	「たて込み簡易土留機材の引き抜きはトラッククレーン等で施工しなければならない」	仮設構造物であるたて込み簡易土留に関し、トラッククレーン等での施工を義務づけることは施工任意性を阻害するため、削除する。また、本項目は工事目的物の品質に影響を及ぼさない。

3.2 下水道積算基準書の体系化

現在の積算基準書である「下水道用設計標準歩掛表」は、単なる歩掛単価表の集合体ではなく、下水道独自のA、B、C代価表の階層からなる積算構成を持っている。

本基準書は発注者サイドにおける積算作業だけを考えれば、利便性の高い積上げ構成となっているが、工事数量総括表（金抜き設計書）として、契約上明示すべき代価表の階層範囲が規定されていない。また、B、C代価を契約条件として明示した場合、仮設関係の工法・使用機械・労務人員など請負者の施工任意性を著しく阻害する代価表が、契約図書として工事数量総括表に記載されてしまう等の問題がある。

今回体系化する積算基準書（標準歩掛）は、これらの点を解消すると共に、工事工種体系に沿って使用する施工歩掛表が検索できるよう、レベル2～4を基準書のA～C代価表として1対1対応させることとした。表-3に現基準書と体系化する基準書の階層定義比較を示す。これにより、以下の点での積算・契約上の改善点がはかれると考える。

表-3 現下水道歩掛表と体系化する歩掛表の階層定義

下水道標準歩掛の代価記号	現標準歩掛	体系化する標準歩掛
A代価	積算便宜上の階層である。契約上明示する工事目的物と労務・仮設等の契約上明示されない項目が階層的に区別できない。	工事工種体系におけるレベル2とする。（工種として契約図書に明示される。）
B代価		同上、レベル3とする。（レベル3の内訳として、レベル4の数量・単位・規格が契約図書として明示される。）
C代価		同上、レベル4となる。レベル4の数量・単位・規格は契約上明示されるが、その積算費用内容は、契約上明示しない項目であり、契約図書とならない。C代価内訳は細別モジュール表に相当する。
D～E代価	表現上のD～E代価はない。	積算上利用する歩掛り群である。細別モジュール内訳書内の施工歩掛項目に相当する。

- ・体系化する基準書は下水道工事工種体系ツリーと同じ階層を持つため、契約上明示する代価が明確となり、契約内容（工事数量総括表）の標準・明確化、積算費用定義の統一化に寄与する。
- ・契約対象となる工事目的物（レベル4に相当）の積算用単位、工事数量総括表用単位が規定され、設計変

本工事内訳

本工事内訳書						
費目 (レベル1)	工種 (レベル2)	種別 (レベル3)	細別 (レベル4)	単位	摘要	
管路	管きよ工 (開削)	管路土工	管路掘削	式	C-1	
			管路埋戻	式	C-2	
			発生土処理	式	C-3	
			管布設工		B-2	
			鉄筋コンクリート管	m	C-4	
			陶管	m	C-5	
				
		マソール工				A-2
					

レベル2に対応してA代価、
レベル3に対応してB代
価、レベル4に対応してC
代価を設定

管きよ工(レベル
2)のツリーに
配置されるすべ
ての種別(レベル
3)で構成

A-1 管きよ工 ○Omm(レベル2)

種目	形状寸法	単位	数量	単価	金額	摘要
管路土工(レベル3)		式	1			B-1(A-1-1)
管布設工(レベル3)		式	1			B-2(A-1-12)
管基礎工(レベル3)		式	1			B-3(A-1-17)
水路築造工(レベル3)		式	1			B-4(下位代価無し)
管路土留工(レベル3)		式	1			B-5(A-1-22)
.....	

契約図書となる
工事数量総括表
に表示する単位
と積算用の単位
を併記

B-1 管路土工(レベル3)

(一式)

種目	形状寸法	単位	総括表 単位	数量	単価	金額	摘要
管路掘削(レベル4)		m ³	式				C-1(A-1-1)
管路埋戻(レベル4)		m ³	式				C-2(A-1-6)
発生土処理(レベル4)		m ³	式				C-3(A-1-9)
計							

B-2 管布設工(レベル3)

(一式)

種目	形状寸法	単位	総括表 単位	数量	単価	金額	摘要
鉄筋コンクリート管(レベル4)		m	m				C-4(A-1-12)
陶管(レベル4)		m	m				C-5(A-1-14)
硬質塩化ビニル管(レベル4)		m	m				C-6(A-1-15)
強化プラスチック複合管(レベル4)		m	m				C-7(A-1-15)
計							

管布設工(レベル
3)のツリーに
配置される細別
(レベル4)のう
ち下水道分野で
積算基準が制定
されている細別
で構成

C-4 鉄筋コンクリート管 (レベル4)

(1m当り)

種目	形状寸法	単位	数量	単価	金額	摘要
鉄筋コンクリート管材 料費		式	1			
鉄筋コンクリート管布 設工		m				D-4-1 (A-1-13)
計						

積算要素(レベル6)に相
当する積算基準をD、
E代価表として再編成

図-4 下水道積算基準書の体系化

更、検収する際の単位が明確となる。また、指定する工事仮設物、任意となる工事仮設物が、契約上明確となる。

- ・体系化された積算基準書はレベル4毎に利用できる歩掛かり群が記載され、利用できる歩掛かりの選択と適用条件の確認が容易となり、初心者にとっても積算の習熟が容易となる。

「下水道用設計標準歩掛表」における工事工種体系化に沿った再編成の具体的なイメージを図-4に示す。

3.3 下水道用語定義集の作成

工事工種体系における各階層区分（レベル）のうち、レベル4として位置づけられている「細別」は、他のレベルと異なり、契約における取引項目となりうる、特に重要なレベルと位置づけられている。

具体的には、入札時の見積もり額算出や契約変更、あるいは、目的物の検収をおこなう場合など細別項目ごとに、単価に数量を乗じて金額を算出したり、あるいは、数量を検収することとなる。従って契約の透明性を確保していくためにも“細別”の内容については発注者と受注者の間で内容に関する共通認識を形成していく必要がある。

下水道用語定義集の作成に当たってはいわゆる“下

水道用語集”的なものではなく、工事工種体系用語としての“細別”（レベル4）の定義という観点からの記述とした。このため、基本的には用語の解説はおこなっていない。また、“細別”の定義は原則として、当該細別の費用構成を“包括的な”表現で記述することとするとともに、工法に関する記述等、施工の任意性を阻害する表現は極力避けることとした。例えば、図-5に示す下水道用語定義集の記載例において硬質塩化ビニル管という“細別”には材料費、布設費、保温費が含まれ掘削、埋戻等の管路土工が含まれないという費用構成が明示されている。

4 おわりに

現在下水道の整備が中小市町村に展開している今、本研究のテーマである工事共通仕様書の整備、積算基準書の体系化は、契約の透明性向上と共に発注者の積算合理化を支援する大きなツールとなるものと考えている。13年度は、下水道土木工事共通仕様書のうち管渠分野の整備を進めると共に、策定された図書の地方自治体への意見照会などにより、見直し・作成を進める予定である。

<参考文献>

- 1) 「新土木工事積算大系の解説」 監修、建設大臣官房技術調査室、発行、(財)経済調査会
- 2) 例えば、「土木工事必携」 監修、関東地方建設局企画部、発行、(社)関東建設弘済会

【S-411-01】			
硬質塩化ビニル管		総括表用単位	m
		積算用単位	m
【用語の定義】			
硬質塩化ビニル管の布設作業で、以下の費用を含む。			
・硬質塩化ビニル管材料費			
・管布設費 (VU)			
・管布設費 (VP)			
・管保温費			
【備考】			
下水道用硬質塩化ビニル管以外の継手材料、労務は、「継手類」で計上する。			
レベル1 工事区分	レベル2 工種	レベル3 種別	レベル4 細別
管路	管きよ工 (開削)	管布設工	硬質塩化ビニル管
管路	管きよ工 (小口径推進)	立坑内管布設工	硬質塩化ビニル管
処理場・ポンプ場	場内管路工	管布設工	硬質塩化ビニル管

図-5 下水道用語定義集の記載例

7. 下水道施設の液状化対策に関する調査

動土質研究室 室長 松尾 修
 研究員 佐々木哲也
 研究員 田本 修一

1. はじめに

地震の多い我が国において、ライフライン施設の一つである下水道管渠は過去に数々の被害を受けてきた。特に1993年に発生した釧路沖地震において釧路町で生じたマンホールの浮上がり現象は、外部から目に見える被害として最も目立つものであった¹⁾。釧路沖地震等で浮き上がったマンホールを対象に行われた被害調査¹⁾によると、下水道管路の被災の主たる要因は地下水位以下の埋戻し土の液状化であると考えられている。また、これまでに実施した管路施設の浮上がりに関する模型振動台実験^{2)~5)}から、埋戻し部分を十分に締め固め、液状化抵抗を高めることにより浮き上がりがある程度防止できることがわかっている。これらの調査、模型実験により得られた知見から、埋戻し部分を十分に締め固め、液状化抵抗を高めることにより下水道管渠の浮き上がりを相当程度防止できそうであることがわかってきた。そこで、12年度は、液状化による管渠の浮上がり被害を防止するために必要な埋戻し部の締め固め程度を明らかにし、管渠の液状化被害を防止するために必要な埋戻し締め固め管理基準の提案を目的として、実際に下水道管渠の埋戻しに用いられる砂質土を用いて下水道管渠の浮上りに関する動的遠心模型実験を行い、管渠の浮上り被害程度と埋戻し材の液状化特性との関係を調べた。

2. 埋戻し土の液状化試験

2.1 目的

ここでは、動的遠心模型実験に使用する、実際の下水道管渠の埋戻しに用いられている埋戻し材の液状化特性を把握することを目的に、繰返し非排水三軸試験を行った。

2.2 試料

使用した埋戻し材は、11昨年度に実施した埋戻し材の室内土質試験の繰返し非排水三軸試験結果⁶⁾から、同じ締め固め度で液状化強度 R_{120} が異なるもの、同じ液状化強度で後述する累積損失エネルギーの異なるものを選定した。図-1及び表-1に試料の粒径加積曲線及び物理特性をそれぞれ示す。

2.2 試験方法

供試体は、締め固め試験(A-b法)で得られた最

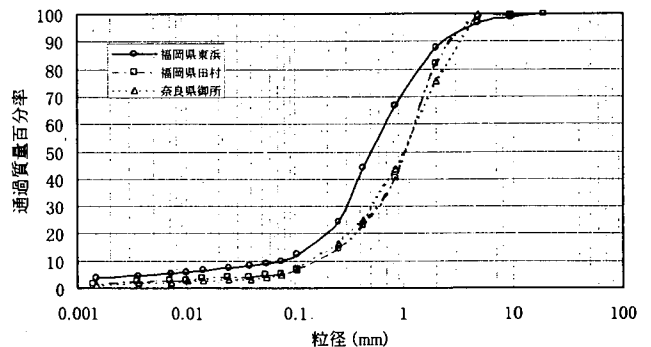


図-1 埋戻し土の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

土質試料		福岡県東浜	福岡県田村	奈良県御所	
物理特性	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.694	2.666	2.710	
	含水比 w (%)	3.2	-	1.3	
	粒	礫分含有率 (%)	12.3	18.1	24.2
	砂分含有率 (%)	78.0	76.5	71.0	
	シルト分含有率 (%)	4.9	2.7	2.8	
	粘土分含有率 (%)	4.8	2.7	2.0	
均等係数 U_c	平均粒径 D_{50} (mm)	0.503	1.05	1.02	
	均等係数 U_c	8.6	8.0	9.1	
砂の最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	砂の最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.553	1.657	1.746	
	砂の最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm^3)	1.215	1.305	1.315	
締め固め試験	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.871	1.708	1.729	
	最適含水比 w_{opt} (%)	11.5	15.4	14.5	

適含水比に試料を調整し、目標締固め度 $D(= \rho_d / \rho_{dmax})$ が表-2 となるよう層厚 20mm 毎に突き固めて作成した。液状化試験の供試体の寸法は直径 50mm、高さ 100mm である。

供試体の飽和は炭酸ガス法により行った。196kPa の背圧を与えて有効拘束圧 29.4kPa で等方圧密を行い、 B 値は各ケースとも 0.95 以上であることを確認した後試験を行った。

本試験の荷重条件として、通常の液状化試験と異なり、20 波毎に応力振幅比を段階的に増加させる漸増振幅荷重を行った。漸増振幅荷重試験の荷重条件は、図-2 に示すように、初期荷重応力振幅比を 0.05 または 0.1 とし、20 波毎に 0.025 ずつ段階的に増加する 0.1Hz の sin 波とした。なお、途中で圧密排水は行っていない。

繰返し回数 20 回で両振幅軸ひずみ $\epsilon_{DA}=5\%$ となる繰返し応力比を液状化強度 R_{L20} と定義した。液状化強度 R_{L20} は、図-3 に示すように、両振幅軸ひずみ 5% を超えた最終ステップの応力比 R_n 、その 1 つ前のステップの応力比 R_{n-1} 、最終ステップの繰返し回数 N および 1 ステップ当たりの荷重回数 20 回より、最終ステップの繰返し応力比を $(N/20 \times R_n - R_{n-1})$ と仮定して繰返し応力比と両振幅軸ひずみの関係上にプロットし、同図より両振幅軸ひずみ 5% に対する繰返し応力比を直線補間により求めた。

また、せん断応力-せん断ひずみ関係のループ面積を両振幅軸ひずみ 5% まで累積した値を累積損失エネルギーと定義した。地盤中の土要素を考えると、土要素は地震時に繰返し応力の作用を受け、ヒステリテックな応力-ひずみ履歴をたどる。この過程で土要素は塑性変形しエネルギーを消費する。これを累積損失エネルギーと呼び、次式で定義される η_{θ} 。

$$\Delta W = \oint \tau \cdot d\gamma \quad (1)$$

ここに、 W : 累積損失エネルギー (kPa)、 τ : せん断応力 (kPa)、 γ : せん断ひずみ。定義から明らかなように、累積損失エネルギーは繰返し荷重サイクルに対して単調増加である。

ここでは、それぞれの実験結果として得られた偏差応力-軸ひずみ関係をせん断応力-せん断ひずみに変換した後、次式により両振幅軸ひずみ 5% を超えた付近までの累積損失エネルギーを計算した。

$$\Delta W = \oint \tau \cdot d\gamma = \sum_{n=0}^N \frac{(\tau_{n+1} + \tau_n) \cdot (\gamma_{n+1} - \gamma_n)}{2} \quad (2)$$

ここに、 N : データの個数。なお、風間らの研究 η_{θ} における累積損失エネルギーは定振幅漸増荷重試験結果に対して定義されているが、ここでは、応力制御の漸増振幅荷重試験に対してそのまま適用している。

2.3 試験結果および考察

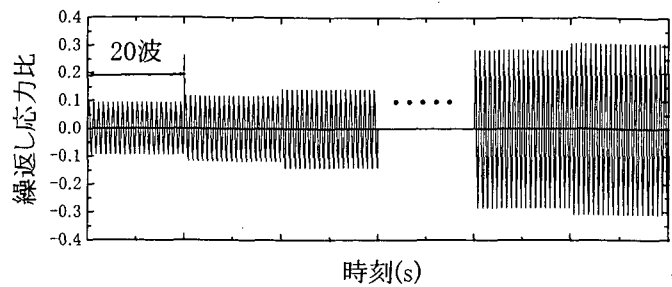


図-2 漸増振幅荷重

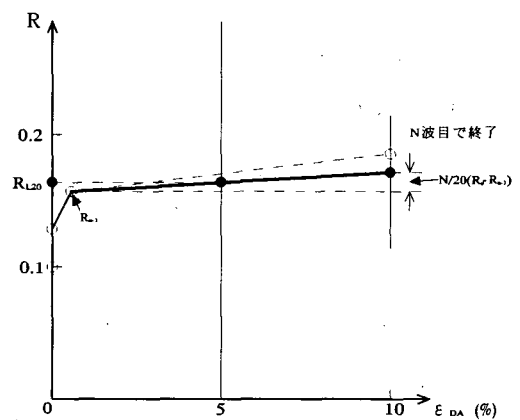


図-3 液状化強度の定義

表-2 漸増振幅載荷試験結果一覧

試料名	福岡県東浜			福岡県田村			奈良県御所		
圧密後の締固め度 D_c (%)	74.6	85.5	89	80.9	85.8	91	80.1	84.2	89.7
$\epsilon_{DA}=5\%$ における 液状化強度 R_{L20}	0.090	0.241	0.399	0.089	0.112	0.215	0.094	0.128	0.197
$\epsilon_{DA}=5\%$ における正規化累積 損失エネルギー	0.007	0.056	0.237	0.007	0.012	0.045	0.007	0.013	0.039

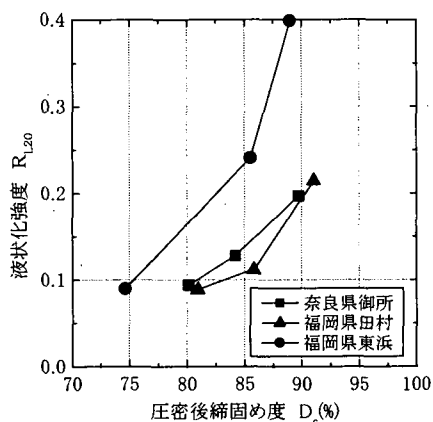


図-4 締固め度と液状化強度の関係

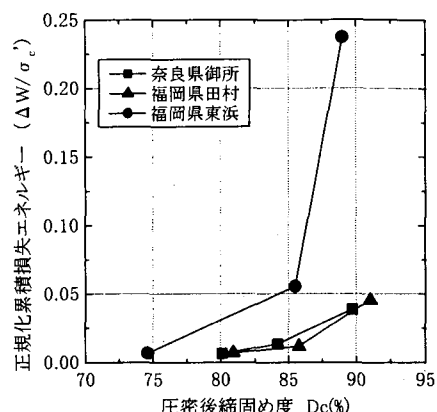


図-5 締固め度と正規化累積損失エネルギーの関係

圧密後締固め度と両振幅軸ひずみ 5%における液状化強度及び累積損失エネルギーの一覧表を表-2 に示す。以下、この表を基に圧密後締固め度と両振幅軸ひずみ 5%における液状化強度及び累積損失エネルギーの関係について述べる。

締固め度と液状化強度 R_{L20} の関係を図-4 に示す。この図よりいずれの試料においても締固め度が高くなるほど液状化強度は高くなっていることがわかる。また、同じ締固め度でも試料により液状化抵抗は大きく異なることがわかる。

次に締固め度と累積損失エネルギーの関係を図-5 に示す。いずれの試料においても締固め度が高くなるほど累積損失エネルギーが高くなり、液状化抵抗同様に同じ締固め度でも試料により液状化抵抗は大きく異なることがわかる。累積損失エネルギーは土の粘り強さを表すとされているが、構造物の被害との相関については明らかになっていない。そこで、次章では動的遠心模型実験により、累積損失エネルギーを含めた土の液状化特性と、下水道管渠の浮上がり被害の関係を調べた。

3. 動的遠心模型実験

3.1 目的

下水道管渠の液状化被害を防止するために必要な埋戻し締固め管理基準の提案を目的に、特に、埋戻し材の違い、埋戻し部の密度の違いに着目して動的遠心模型実験を行い、実験に用いた埋戻し材の液状化特性と管渠の浮上

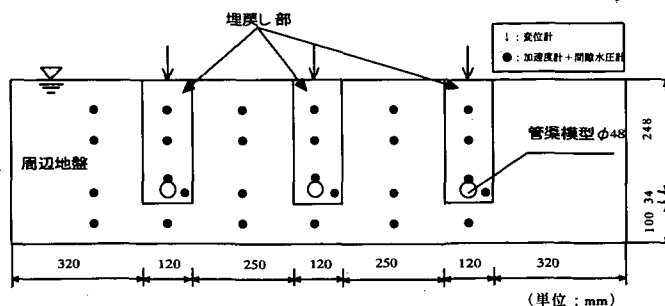


図-6 実験模型

り被害程度との関係を調べた。

3.2 実験方法

模型の概要を図-6、実験条件を表-3に示す。表-3に示すように、実験は埋戻し材料の違い、埋戻し部の密度の違い、周辺地盤の液状化・非液状化に着目して行った。箱形土槽の中に、層厚40cmの周辺地盤を作成し、その中に、管渠模型を埋設した層厚30cmの埋戻し部を3つ作成した。管渠模型は、見かけの比重が0.6となるように調整した塩化ビニール製パイプを用いた。表-3の乾燥密度を目標に周辺地盤は江戸崎砂を用いて、突固めにより作成し、埋戻し部は奈良県御所、福岡県東浜および田村から取り寄せた埋戻し土を用いて突固めにより作成した。実験中、管渠模型及び埋戻し部の変位、管渠模型、埋戻し部及び周辺地盤の加速度、間隙水圧を測定した。実験は10Gの遠心力場で行い、それにともない間隙流体は水の10倍の粘性を持つメチルセルローズ水溶液を用いた。入力波として、重力場換算1Hz、300galおよび600gal、20波の正弦波、および最大1200galの不規則波を用いて、3段階のステップ加振を行った。

表-3 実験条件

ケース	埋戻し部		周辺地盤		加振条件 (重力場換算)	
	材料	目標締固め度 (%)	材料	目標乾燥密度 (g/cm ³)		
1	御所砂	90	江戸崎砂	1.65 (非液状化)	Step1 正弦波300gal 20波	
	東浜砂	90				
	田村砂	90				
2	御所砂	85			1.43 (液状化)	Step2 正弦波600gal 20波
	東浜砂	80				
	田村砂	85				
3	御所砂	75		1.43 (液状化)	Step3 不規則波 最大1200gal	
	東浜砂	75				
	田村砂	75				
4	東浜砂	75		1.43 (液状化)	Step3 不規則波 最大1200gal	
	東浜砂	82				
	東浜砂	90				

管渠模型は、見かけの比重が0.6となるように調整した塩化ビニール製パイプを用いた。表-3の乾燥密度を目標に周辺地盤は江戸崎砂を用いて、突固めにより作成し、埋戻し部は奈良県御所、福岡県東浜および田村から取り寄せた埋戻し土を用いて突固めにより作成した。実験中、管渠模型及び埋戻し部の変位、管渠模型、埋戻し部及び周辺地盤の加速度、間隙水圧を測定した。実験は10Gの遠心力場で行い、それにともない間隙流体は水の10倍の粘性を持つメチルセルローズ水溶液を用いた。入力波として、重力場換算1Hz、300galおよび600gal、20波の正弦波、および最大1200galの不規則波を用いて、3段階のステップ加振を行った。

3.3 実験結果および考察

以後、全て実物スケールに換算して示す。遠心圧密後の締固め度と管路模型の浮上り量の関係を図-7に示す。周辺地盤が非液状化の場合、300gal加振では浮上り量が生じなかった。また、600gal加振では締固め度が小さいほど浮上り量は大きくなった。なお、ケース3の300gal加振及び全ケースの600gal加振において埋戻し部は液状化していた。周辺地盤も液状化するケース4では、300gal加振でも浮上り量が生じた。周辺地盤が液状化しないケースにおいて、締固め度が同じでも材料が異なると浮上り量は異なった。下水管の埋戻し施工管理基準を締固め度で規定している機関では締固め度 $D_c \geq 90\%$ 以上としていることが多いが、今回の実験で少なくとも $D_c \geq 90\%$ 程度に締め固めていれば、埋戻し部が液状化しても周辺地盤の液状化の有無にかかわらず管路模型の浮上りは生じなかった。ただし、本実験の浮上り量は最大値でも9.5cmで管径の約2割

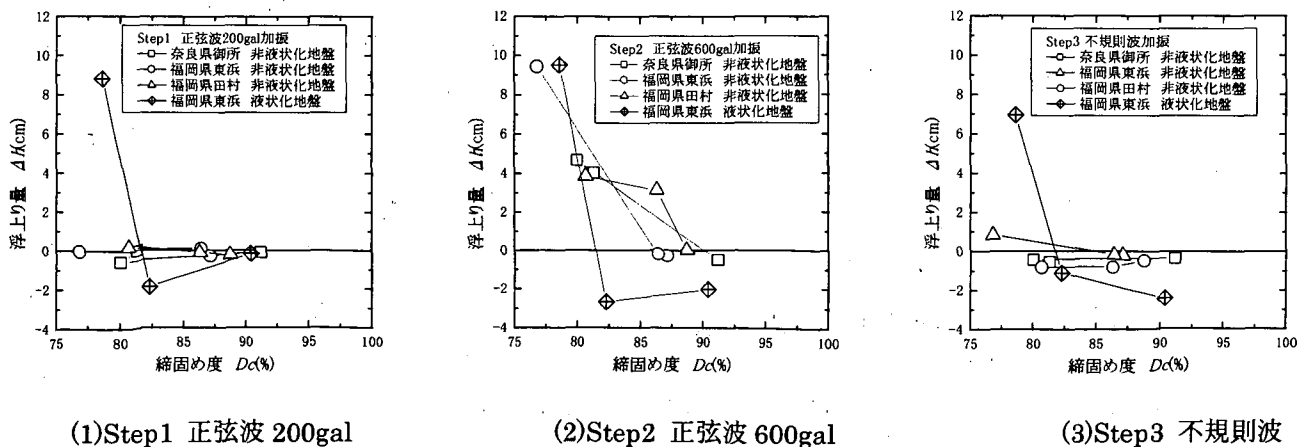


図-7 締固め度と浮上り量の関係

程度の浮上り量であり、管路模型下部の埋戻し層厚が薄いこと、埋戻し部の開削幅が狭いこと等が影響し、今回の実験条件は浮き上がりにくい条件であった可能性もある。

3.4. 埋戻し材料の液状化特性と管渠の浮上り量の関係

次に埋戻し材の液状化特性と管渠の浮上り量の関係について調べた。ここでは、繰返し非排水三軸試験による繰返し載荷回数 20 回で両振幅軸ひずみ 5% となる繰返し応力比を液状化強度 R_{L20} とし、また、偏差応力-軸ひずみ関係のループ面積を両振幅軸ひずみ 5% まで累積した値を累積損失エネルギーとして、これらと浮上り量の関係を調べた。

まず、埋戻し材の液状化強度と浮上り量の関係を図-8 に示す。なお、ここでは周辺地盤が非液状化のケースでステップ 2 の結果について示している。液状化強度と浮上り量の関係は材料の違いによるばらつきは比較的小さいこと、今回の実験では埋戻し部がたとえ液状化しても液状化強度がある程度高ければ管渠の浮上りは生じないようであること、がわかる。

次に累積損失エネルギーと管路模型の浮上り量の関係を図-9 に示す。累積損失エネルギーが小さくなると浮上り量が大きくなる傾向が見られる。累積損失エネルギーと浮上り量の関係も液状化強度と同様に材料の違いによるばらつきは比較的小さいようである。

地盤を一次元土柱と考え埋戻し部の応答加速度より求めたせん断応力と、埋戻し部の加速度の測定値を積分することにより求めたひずみの関係を求めた。図-10 に例として東浜砂で締固め度 $D=87\%$ および 77% で埋め戻したケースの計算結果を示す。これより、締固め度 $D=87\%$ と密な場合は、サイクルクリックモビリティにより各サイクル毎に応力が回復しているが、締固め度 $D=77\%$ の緩い場合は、応力が回復することなくこのループ面積を積分することにより、実験中に埋戻し部で消費した損失エネルギー ΔW を求めた。その際、15~300Hz のバンドパスフィルターによりドリフト成分を除去している。加速度計より求めた損失エネルギー比 $\Delta W / \sigma_{v0}'$ と繰返し三軸試験により $DA=5\%$ までの損失エネルギー $\Delta W_{DA=5\%} / \sigma_{m0}'$ の比 $(W_{DA=5\%} / \sigma_{m0}') / (\Delta W / \sigma_{v0}')$ と、浮上り量の関係を示したのが、図-11 である。これより、

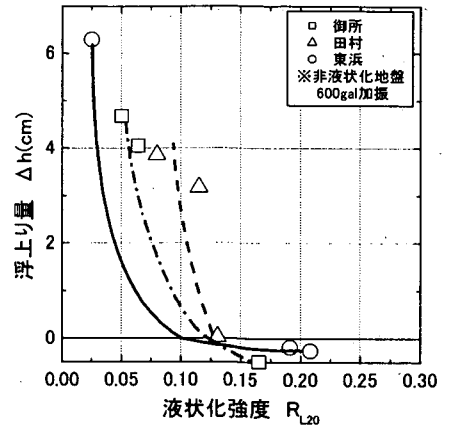


図-8 液状化強度と浮上り量の関係

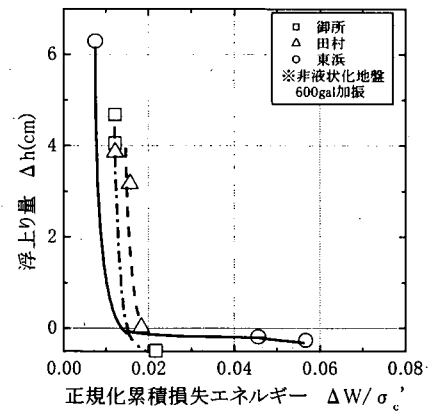
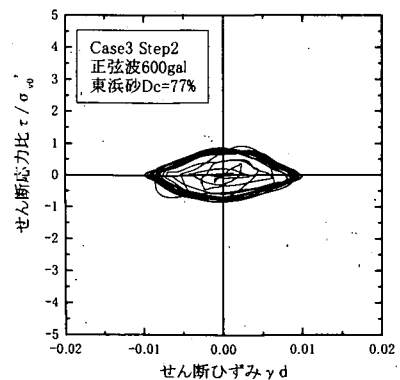
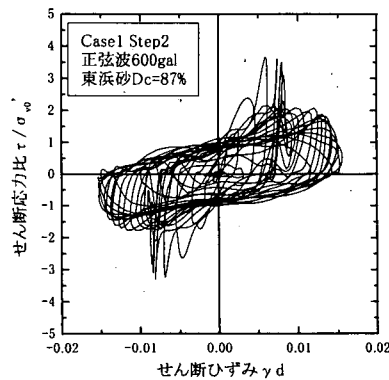


図-9 累積損失エネルギーと浮上り量の関係



(1) Case1 Step2 東浜砂 $D_c=87\%$ (2) Case3 Step2 東浜砂 $D_c=77\%$

図-10 加速度計から求めた応力-ひずみ関係の例

$(W_{DA=5\%}/\sigma_{m0})/(\Delta W/\sigma_{v0})$ の値が0.3以下になると浮上りが生じ、この値が小さいほど浮上がり量が大きくなる傾向が見られる。

以上より、今回の実験では少なくとも $D=90\%$ 程度に締め固めていれば、埋戻し部が液状化しても周辺地盤の液状化の有無にかかわらず管路模型の浮上りは生じないこと、液状化強度がある程度高ければ管渠の浮上りは生じないようであることがわかった。また、下水道管渠の浮上り量との相関は締め固め度よりも、液状化強度または累積損失エネルギーが高く、埋戻し部が液状化しても液状化強度、あるいは累積損失エネルギーが大きければ浮上りは生じないことがわかった。

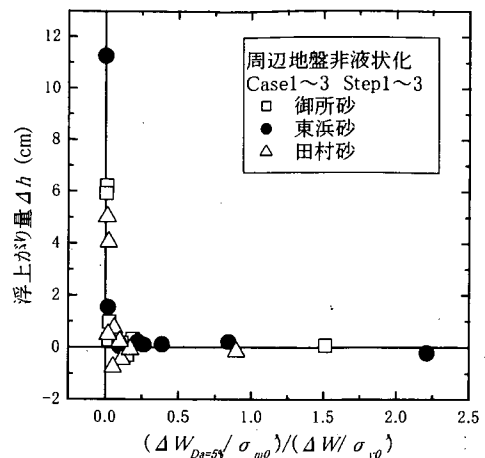


図-11 損失エネルギー比と浮上がり量の関係

4. 主な研究成果物

- ・松尾修, 佐々木哲也, 田本修一: 下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書, 土木研究所資料, 第3701号, 2000.8.
- ・田本修一, 佐々木哲也, 松尾修: 下水管理設に用いられる砂質土の液状化特性, 第35回地盤工学研究発表会, pp.773-774, 2000.6.
- ・佐々木哲也, 田本修一, 松尾修: 地中構造物の浮上がり対策工に関する動的遠心模型実験(その2), 第55回土木学会年次学術講演会, pp.330-331, 2000.9.
- ・松尾修, 佐々木哲也: 下水道管路施設の液状化による浮上がり被害とその対策, 土木技術資料, Vol.42, No.10, pp.60-65, 2000.9.

参考文献

- 1) 田中修司, 塩路勝久, 大塚久哲, 二宮嘉郎, 松尾修, 古関潤一: 釧路沖地震により浮上した下水道マンホールの調査, 土木研究所資料第3275号, 1994.
- 2) 松尾修, 古関潤一, 佐々木哲也, 近藤浩市, 林裕士: 管路施設の地震時浮上がりに関する模型振動実験, 土木研究所資料第3486号, 1997.
- 3) 田村敬一, 東拓生, 小林寛: 埋戻し部の締め固めに着目した下水道管渠の浮上がり特性, 土木学会第52回年次学術講演会, pp.314-315, 1997.
- 4) 島村一訓, 濱田政則, 安田進, 小島清嗣, 藤田裕介, 菊池敏男: 実大実験による埋設管路の液状化時の浮上に関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.1399-1404, 1998.
- 5) 清水恵助, 永瀬英夫, 廣岡明彦, 新井章太, 橋本裕二郎: 締め固め工と矢板による締切り工を併用した地中構造物の液状化時浮上がり抑制工に関する重力場振動台実験, 第34回地盤工学研究発表会, pp.1723-1724, 1999.
- 6) 田本修一, 松尾修, 佐々木哲也: 下水管理設に用いられる砂質土の液状化特性, 地盤工学研究発表会, pp.
- 7) 風間基樹, 柳澤英司, 増田昌昭: 定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性, 土と基礎, Vol.46, No.4, pp.21~24, 1998.
- 8) 風間基樹, 鈴木崇弘, 柳澤栄司: 地盤に入力された累積損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用, 土木学会論文集, No.631/III-48, pp.161-177, 1999.