

地盤剛性急変化部における 高性能軸方向変位吸収継手の挙動

相原素晴¹・竹内幹雄²・小西康彦³・高橋直樹⁴

¹ 日本水工設計株式会社 東京支社第一技術部 (〒104-0054 東京都中央区勝どき3-12-1)

E-mail:s-aihara@n-suiko.co.jp

² 株式会社日水コン 下水道本部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

E-mail:takeuti_m@nissuicon.co.jp

³ 株式会社日水コン 東京下水道事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

E-mail:konisi_y@nissuicon.co.jp

⁴ 株式会社奥村組 技術本部 東京土木技術部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

E-mail:naoki.takahashi@okumuragumi.jp

本稿は、地盤の剛性急変化境界（硬軟急変化部）における小口径埋設管の地震時の挙動を調べ、軸方向の突っ込み変位に対応させた軸方向変位吸収継手を考案し、その継手の挙動と効果について解析的に検討したものである。その結果、以下のこと等が分かったので検討経過を報告する。

- 1) 地盤の剛性急変化部で発生する地盤ひずみは、管軸に対して突っ込みを示す場合がある。現状の継手製品は突っ込みについて考慮されていないため、何らかの対策が必要である。
- 2) 対策方法として、低倍率発泡ポリスチレンをクッション材に用いた軸方向変位吸収継手の基本構造を考案した。
- 3) 継手の物性を反映した梁-バネモデルの非線形動的解析により、継手部の軸力は軟弱地盤側よりも硬質地盤側で低減効果が顕著であること等の特徴が把握できた。

Key Words : *Different ground rigidity, Dynamic analysis of beam & spring model, Expansion joint with expanded polystyrene, Ground strain in earthquake*

1. はじめに

下水道管路施設で一般的に使用されている「差し込み継手管きょ」に代表される管種には、遠心力鉄筋コンクリート管や硬質塩化ビニル管があり、特徴としては、継手部がソケット状の継手を有し、縦断方向に自由端でつながれているため、地震時には個々の管が地盤の挙動に追従して変位しやすいことが挙げられる。一方で、例えば 1995 年兵庫県南部地震の際は、継手が抜け出して流下機能を損なう、あるいはマンホールの中へ突き出して接合部を壊し、機能不具合を起こす等の被害が発生している。

筆者らは、下水道管路施設に用いられるこのような「差し込み継手管きょ」が、地盤の硬軟急変化境界を対象とした地盤モデルに対して、下水道耐震設計基準で定めるレベル 2 地震動、想定最大強度である東海地震の地震動（Hinode Wave）などを作用させ、両層境界付近で起こり得る最大地盤ひずみを数値解析的に推定して、耐震設計のあり方を模索してきた¹⁾。

その結果として、レベル 2 地震動における最大地盤ひずみは約 0.5%、Hinode Wave では約 3.5% が推定された。この内、レベル 2 の 0.5% に対しては、現行の全ての下水道規格製品（JSWAS）で抜出し

性能を満足することが確認され、設計実務の簡素化（計算不要とする）を図ることができた²⁾。

ここでは、これまでの解析結果を総括し、新たな提案として、主に中・小口径の差し込み継手管きょを対象にして、低倍率発泡ポリスチレンを管軸マイナス方向変位（突っ込み）のクッション材に用いた「高性能管軸方向変位吸収継手」の構造提案を行い、その継手の挙動特徴と効果について解析的に検証した結果を報告する。

2. 差し込み継手管きょと地盤ひずみ

(1) 著者らのこれまでの解析概要

差し込み継手管きょの抜出し量は、例えば文献 2), 3) では 1995 年兵庫県南部地震における下水道管路施設の被害分析から、管の有効長と地盤のひずみに依存するとして、式(1)に示すような形で表している。

$$\delta = \varepsilon_g \times \ell \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここに、 δ : 差し込み継手管の抜け出し量

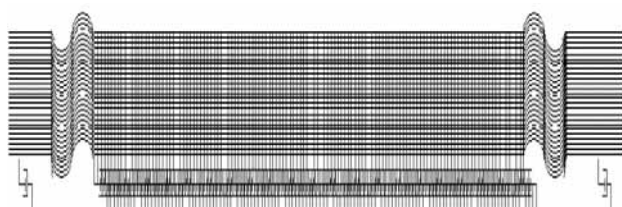
ε_g : 地盤ひずみ（管軸方向）

ℓ : 管の有効長

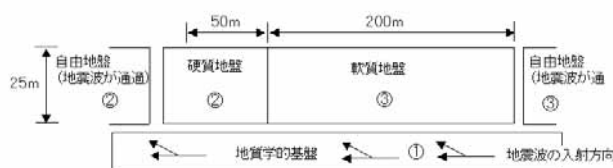
この式を用いると、硬軟急変部における地盤ひず

みが予測できれば管の抜き出し量を算出することができる。

著者らは、地盤条件が最も悪い場合（急傾斜のおぼれ谷に堆積した軟弱な沖積粘性土地盤）を想定し、地盤の剛性急変化境界（硬軟急変部）に発生する地盤ひずみ ε_g の値を二次元FEM等価線形動的解析（Super-FLUSH）を用いて解析的に予測した¹⁾。



(a) 二次元 FEM メッシュ (節点数3276, 要素数3125)



(b) FEM 要素

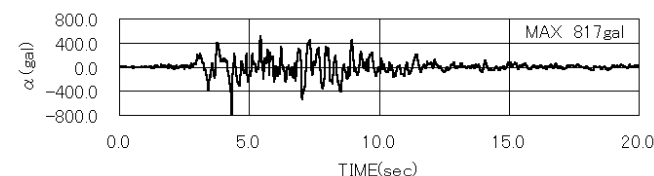
図 - 1 解析モデル

表 - 1 解析定数

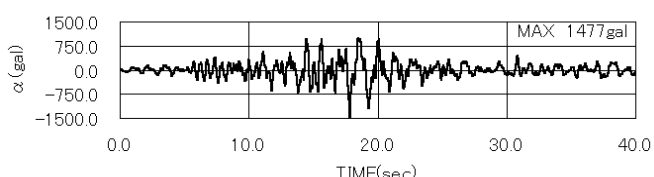
地盤	Vs [m/s]	γ_t [kN/m ³]	G [kN/m ²]	ν_d	備 考
	300	20	180000	0.40	$c=700, 1000, 1500, 3000\text{m/s}$
	300	20	180000	0.40	
	120	17	25000	0.48	

注) 地盤の丸印番号は、図 - 1 と対応する。

解析モデルを図 - 1 に、解析土質常数を表-1 に示す。また、解析に用いた入力地震波の加速度波形を図-2 に示す。入力地震波としては、1995 年兵庫県南部地震におけるポートアイランド基盤波（PI 波）と東海地震における最強地震動として想定される Hinode Wave（HI 波）を用いた。最大加速度は、PI 波 817gal、HI 波 1477gal であり、約 1.8 倍の差がある。



(a) PI 波



(b) HI 波

図 - 2 入力地震波の加速度波形

(2) 解析結果

解析結果は次の通りである。

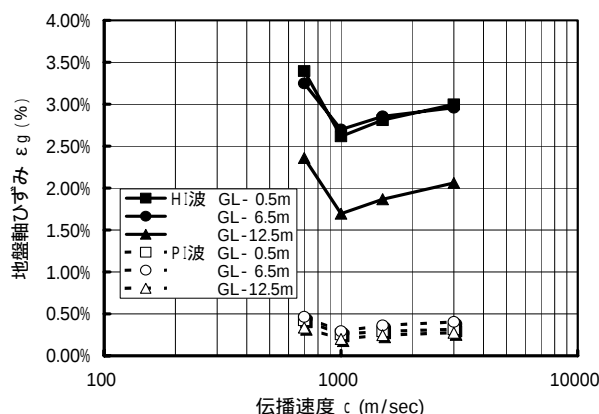


図 - 3 入力波の速度 c ～ 地盤の軸ひずみ ε_g

- 1) 図 - 3 より、地盤軸ひずみは $c=1000\text{m/s}$ で最小 1.7～2.6%となる凹型曲線となる。既往の地震観測事例では、 $c=700\text{m/s}$ は極めて稀なケースであり、著者らは $c=1500\text{m/s}$ の結果が一般的かつ妥当な結果と考えている。
- 2) 地盤軸ひずみが最大となったのは、硬軟境界面から 5～10 m軟質層側に寄った地表から約 1/4 深さ（GL-6.0～-6.5m 付近）であった。これは HI 波・PI 波共に同様であった。
- 3) この結果から、地盤の硬軟急変部での地盤軸ひずみは、地質学的基盤層や軟質層での地震波の伝播速度により値が変化するが、仮に $c=700\text{m/s}$ という条件であっても、レベル 2 地震動では最大 0.5%，想定最強地震動では最大 3.5%と判断できる。

3. 下水道管きょの耐震設計への反映

(1) 下水道製品に対する簡単な試算と検証

解析結果の地盤ひずみ量を式(1)へ代入し、推進工法・小口径管推進工法に用いられる代表的な管種に対して表 - 2 の結果を得る。

HI 波の場合に継手許容値（抜き出し）を上回るの、半管を用いる、あるいは特殊な可とう継手を用いる等の対策が必要である。

表 - 2 抜き出し量の簡単な試算

管 種	有効長 l [m]	抜き出し量 [mm]		許容値 [mm]	備 考
		PI波	HI波		
推進工法用鉄筋コンクリート管	2.43	12 OK	85 OK	120	JSWAS A-2, JC継手の場合
小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管	2.00	10 OK	70 NG	10～57	JSWAS A-6, 継手構造で許容値が異なる
推進工法用硬質塩化ビニル管	2.00	10 OK	70 NG	53～93	JSWAS K-6, 管径で許容値が異なる

注) NG に対しては、可とう管や半管を用いる等の対策が必要。

(2) 検証結果に対する課題

表-2 によれば、「地盤の硬軟急変部では、レベル2地震動では全ての規格製品で抜出し対応可能だが、想定最強地震動に対しては抜出し対策が必要である」となる。

ここで著者らが問題視しているのは、現行の管きょ製品は抜出し対応に主眼を置いたものであり、突っ込みは考慮されていないことである。実際に、例えば2004年新潟県中越地震では、写真-1のようにマンホールの中へ管きょが突き出し漏水する被害も起きている。1995年兵庫県南部地震では、中大口径のシールドでも同様の被害が見られた。いずれも地震動はレベル2相当である。



写真-1 管きょの突出被害の例
(開削工法のマンホール内に突き出した管の外周から地下水がにじみ出している)

突っ込みが激しければ管が座屈し、流下不能や道路陥没等を引き起こしかねないため、局所的な開削を行って管を交換せざるを得ない。できれば、抜け出し・突っ込み両方へ対応できる継手が望ましい。よって、課題事項は次のように整理できる。

- 1) レベル2地震動に対しては、突っ込み対応の継手を考える。
- 2) 想定最強地震動に対しては、表-2より $\pm 85\text{mm}$ 以上の軸方向変位に対応可能な継手を考える。対象は、管軸方向の被害が多い比較的小口径の管きょとする。

4. 軸方向変位吸収継手の提案

(1) 継手構造の基本条件の整理

既製品における抜出し対応推進管継手の基本形は、図-4に示すカラー構造である。片方の推進管は外側に金属のカラーが装着され、もう片方の管には止水シールが取付けられていて、両者を突き合わせた時にできる隙間からの漏水を防止する構造となっている。共同溝の可撓継手に代表される接合部に Ω 型のバネを設けた継手は適用が難しい。これは、施工時の推力に対して Ω 型バネが圧縮変形を受けやすいためである。

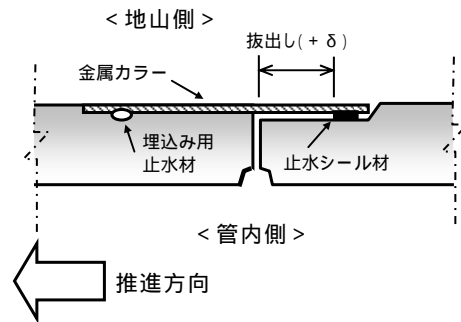


図-4 推進用カラー継手の基本構造

そのため、地震時の突っ込み対応用の継手は、突っ込み側に何らかのクッション(緩衝材)を設ける。そのクッションは、次の条件を同時に満たす必要があると考える。

条件 (施工時)

施工時は、突っ込み側のクッション(あるいはバネ等)は弾性領域に収まり、推進力に対応する。

条件 (地震時)

地震時は、発生する管軸方向の軸力によってクッション(あるいはバネ等)は塑性領域に至り、突っ込み変位を吸収して、管の座屈・破損を防止する。

すなわち、突っ込み対応継手(軸方向変位吸収継手)の開発は、こうした条件を満足するクッション材料を選定することが重要となる。

(2) クッション材料の条件

クッション材料の条件としては、弾性領域が管きょの許容圧縮応力度より大きく、かつ地震時の軸方向軸力が塑性領域の範囲に収まる必要がある。

継手部に用いるクッション材料としては、カーブ推進の際に推力方向を調整するため、継手部へ部分的に挿入する推力伝達材に使用される、発泡ポリスチレンを用いることを考えた。

発泡ポリスチレンは、石油原料のポリスチレン樹脂に炭化水素あるいはフルオロカーボンを発泡剤に加えて製造する。極めて軽量で硬質・耐圧性があり、給水・吸湿性や熱伝導性が小さい。発泡倍率が原料の樹脂の4倍以下の低発泡タイプは、土木・建築分野ではボードや断熱材に用いられている。代表的な低倍率発泡ポリスチレンの応力～ひずみ曲線⁶⁾を図-5に示す。

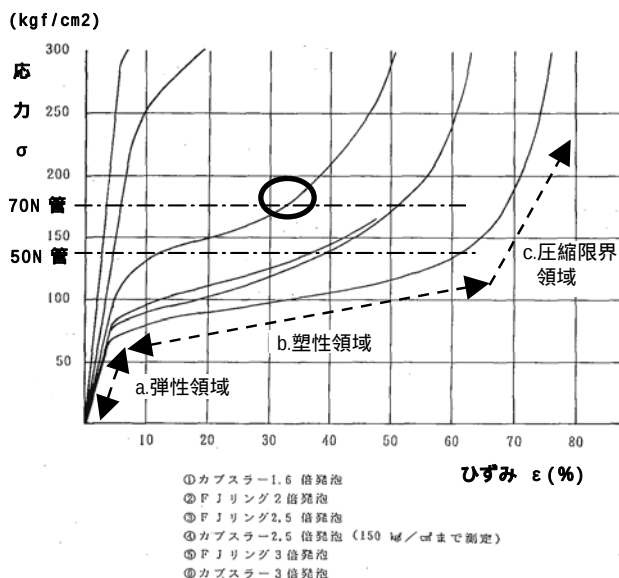


図 - 5 低倍率発泡ポリスチレンの応力～ひずみ曲線（短期載荷の場合）⁶⁾に加筆

図-5 をもとに、低倍率発泡ポリスチレンの応力～ひずみ関係を次の3領域に区分する。

- 初期の直線区間の弾性領域
- 応力に対してひずみが進行する塑性領域
- ひずみの進行が少なく応力度だけが增大する領域（圧縮限界領域）

発泡倍率で見た場合、a.弾性領域が大きいのは発泡倍率の低いもの（1.5～2.0倍）であり、倍率が3倍になるとa.弾性領域が小さく、b.塑性領域が拡大する傾向が見られる。

施工時の条件（条件⁷⁾）はa.の範囲であり、推進管の許容平均圧縮応力度 σ_{ma} 以内に収める必要がある⁷⁾。

一方、地震時の軸方向軸力Nに対する条件（条件⁷⁾）では必ずa.～b.の範囲に入る必要がある。

この条件に合致する材料として、図-5より、材料番号（発泡倍率2.5倍）が適当と考えられる。図-5を基にすれば、材料番号はひずみ ε 35%（材料番号⁷⁾）がb.塑性領域/c.圧縮限界領域の境界と考えられる。

図-6に今回提案する変位吸収継手の基本構造（案）を示す。

この場合、 L = 約240mmがクッション材の必要長さとなり、これは管長（2.43m）の9.8%にもなり、管本体の強度・剛性の低下が懸念される。そのため、管本体の剛性にクッション材の材料特性（地震時の応力～ひずみ関係等）や剛性を考慮した計算手法の検討が必要であるが、ここでは継手のみに着目する。

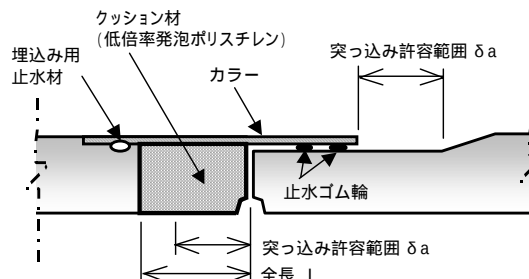


図 - 6 軸方向変位吸収継手（突っ込み対応継手）の構造（案）

6. 梁-パネ解析による検証

(1) 解析条件

提案する軸方向変位吸収継手の変位量・応力度を検証するため、前述したFEM等価線形動的解析（Super-FLUSH）の結果を利用し、管きよを対象にした梁-パネ解析（TDAPによる二次元非線形時刻歴応答解析）を行った。解析条件を表-3、表-4に示す。

表 - 3 地盤の入力定数（梁-パネ解析）

項目	記号	単位	入力値	備考
仕上り内空	ϕ	m	0.70	遠心力鉄筋コンクリート管 ϕ 700mm
外径	D	m	0.88	管厚 $t = 0.09$ m
有効長	ℓ	m	2.00	メッシュの都合2.00m（本来は2.43m）
弾性係数	E	kN/m ²	4.100×10^7	1種管，50N強度管
カラー継手のパネ定数（圧縮・引張）	E _c E _t	kN/m ²	∞ 0	圧縮力がそのまま伝達される
軸方向変位吸収継手のパネ定数（圧縮・引張）	E _c E _t	kN/m ²	a; 1.563×10^5 b; 2.160×10^4 0	図-7 材料番号 ⁷⁾ のa弾性領域，b塑性領域での勾配 カラー継手と同じ

表 - 4 管きよと継手の入力定数（梁-パネ解析）

項目	記号	単位	入力値	備考
仕上り内空	ϕ	m	0.70	遠心力鉄筋コンクリート管 ϕ 700mm
外径	D	m	0.88	管厚 $t = 0.09$ m
有効長	ℓ	m	2.00	メッシュの都合2.00m（本来は2.43m）
弾性係数	E	kN/m ²	4.100×10^7	1種管，50N強度管
カラー継手のパネ定数（圧縮・引張）	E _c E _t	kN/m ²	∞ 0	圧縮力がそのまま伝達される
軸方向変位吸収継手のパネ定数（圧縮・引張）	E _c E _t	kN/m ²	a; 1.563×10^5 b; 2.160×10^4 0	図-6 材料番号 ⁷⁾ のa弾性領域，b塑性領域での勾配 カラー継手と同じ

計算モデル設定上で留意した点は次のとおりである。

- 管きよは、小口径・中口径の両方を包含するように考え、小口径管の最大径である ϕ 700mm遠心力鉄筋コンクリート管を検討対象とした。
- 外力は、HI波、地震波の伝播速度 $c = 1500$ m/sでのFEM動的解析結果から、地盤ひず

みがほぼ最大をとる GL-6.0m 深さの地盤の時刻歴応答変位を地盤バネを介して管きょへ多点入力した．図 - 7 に解析モデルを示す．

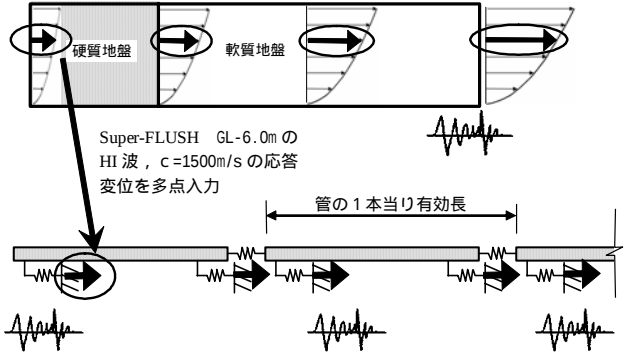


図 - 7 解析モデル（梁-バネモデル）

- 3) 通常のカラー継手，軸方向変位吸収継手は，両者の特性を考慮した非線形特性を設定した．図 - 8 に応力～ひずみ履歴モデルを示す．

カラー継手は，圧縮・引張で弾性係数が異なる非線形弾性として扱った．圧縮時の弾性係数は管きょ本体よりも非常に大きい値（ ∞ ），引張時は 0 に近い値を設定した．

軸方向変位吸収継手は，図 - 5 の材料番号を仮定し，a. 弾性領域と b. 塑性領域それぞれの弾性係数（応力～ひずみ曲線の勾配）を設定した．a と b の弾性係数の比は 1 : 0.138 である．

応力～ひずみ関係は，材料（低倍率発泡ポリスチレン）の特性を考慮し，一旦圧縮されると元に戻らず，次の圧縮力で更に圧縮していく過程を表現させた．

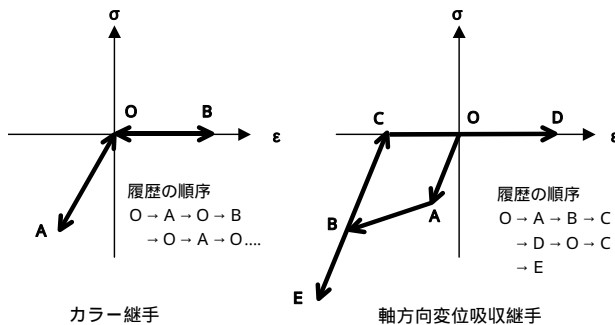


図 - 8 継手の応力～ひずみ履歴モデル

- 4) 管きょと地盤の境界には，せん断バネ K_s を設定し，そのバネにはある上限値（限界抵抗せん断力 S ）を設け，せん断力がそれ以上となった場合は管きょと地盤の間ですべりが生じるものとした．

せん断バネ定数 K_s は，地盤のせん断弾性係数 G を基に，円孔にせん断力を作用させたときの弾性論の解⁸⁾を参考に $K_s = \alpha \cdot G$ ， $\alpha = 3.0$ として設定した．

限界抵抗せん断力 S は，管きょ外周部に生じる周面摩擦力 τ と管の外周長の積をとったものである．ただし参考として，粘着力の 50%（ $\tau = 0.5 \cdot c$ ）でも計算を行っている．

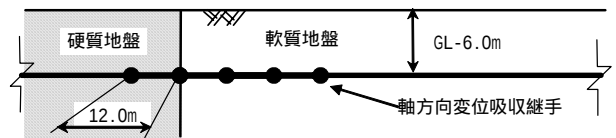
- 5) 解析のケースは，次の 4 ケースを考えた．

ケース 1：継手が剛結された一体構造の管きょと見なした計算．管きょと地盤とのすべり（限界抵抗せん断力）は考慮しない．

ケース 2：カラー継手のみでの計算．限界抵抗せん断力を考慮する．

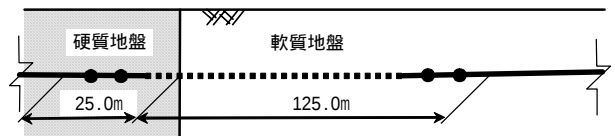
ケース 3：カラー継手ならびに 12.0m 間隔で軸方向変位吸収継手 5 箇所を設けた場合の計算（図 - 9(a)）．

ケース 4：軸方向変位吸収継手を硬質地盤 25m，軟質地盤 125m の 150m 区間に連続設置した場合の計算．ケース 3 と比較する（図 - 9(b)）．



ケース 3
軸方向変位吸収継手：5 箇所 12m 間隔（硬軟境界 1，硬質側 1，軟質側 3）．他の管にはカラー継手．

(a) ケース 3



ケース 4
軸方向変位吸収継手 150m 区間の各管に連続（硬質側 25m～軟質側 125m）．他の管にはカラー継手．

(b) ケース 4

図 - 9 軸方向変位吸収継手の設置条件

(2) 解析結果と課題

解析結果を表 - 5 に示す．最大変位を示した前後の地盤変位と管きょの管軸方向変位（ケース 3）の例を図 - 10 に示す．

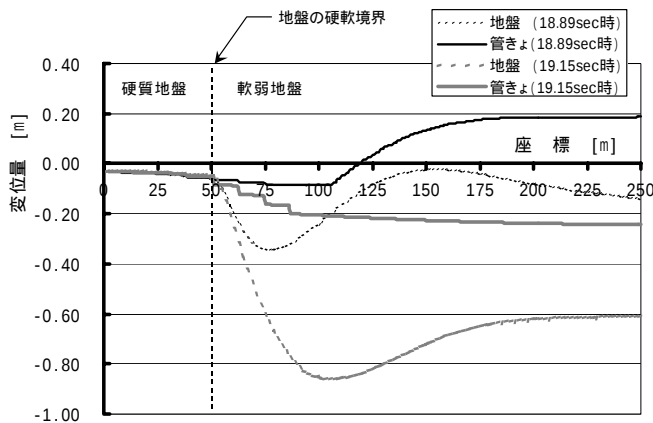
表 - 5 解析結果（ $\phi 700$ ， $\tau = c$ の場合）

ケース	最大圧縮軸力 [kN]	最大圧縮応力 [N/mm ²]	継手部の最大変位量 [mm]
1	95500	427.5	0
2	5700	25.5	0
3	5320	23.8	-33.5
4	2930	13.1	-18.7

注）許容耐力 $F_a = 2391$ kN

限界耐力 $F_c = 9195$ kN（有効断面積から推定）

圧縮強度 $\sigma_{ma} = 13.0$ N/mm²



(変位量のマイナスは圧縮側)

図 - 10 地盤と管きよの時刻歴軸方向変位の例
(ケース 3)

解析結果から次のことが分かった。

- 1) まず図 - 10 から、地盤の硬軟境界部の付近では、管きよは拔出しではなく、突っ込み(マイナス変位)を示すことが分かる。水平座標に沿った管きよの変位方向・形は概ね地盤と一致するが、その値は地盤に比べて小さい。
- 2) 表 - 5 でのケース 1 は、最大圧縮軸力が管の限界軸方向耐荷力 $F_c (= 9195\text{kN})$ を大幅に超える。これは、管きよ全体は一様弾性体、管と地盤のすべりは考慮しないとの前提での計算結果のためである。
- 3) ケース 2 は、管の許容軸方向耐荷力 $F_a (= 2391\text{kN})$ を超えるが管本体が破壊に至ることはない。ただし、継手部の最大変位量はほぼゼロであり、突っ込みには効果がない。また最大圧縮応力度も管の許容圧縮強度 $(= 13.0\text{N/mm}^2)$ を超えている。
- 4) ケース 3 の継手部の最大変位は -33.5mm であり、継手材料の b. 塑性領域 / c. 圧縮限界領域の境界を 35% とするなら、図 - 6 での継手の全長 L は 96mm となる。

最大圧縮軸力は、管の許容耐荷力 F_a を超えるが、ケース 2 に対して約 7% の軸力低減が図られている。継手が突っ込み対応しているので、継手部が損傷しても流下機能は確保できると考える。

- 5) 図 - 10 の管きよの変位量は、軸方向変位吸収継手を設置した箇所段差を示す。詳細を見るために、軸方向に対する最大軸力の分布(図 - 11)、継手部の最大変位の分布(図 - 12)を整理した。

図 - 11 では、硬質地盤側に設置した軸方向変位吸収継手の箇所の軸圧縮力(ケース 3)は、設置しない場合(ケース 2)の約 30% まで下がっている。軸方向変位吸収継手を連続的に設置したケース 4 では、約 5% と効果が大きい。それに比べると軟質地盤側ではケース 4 でも

50% 程度の改善に留まる。

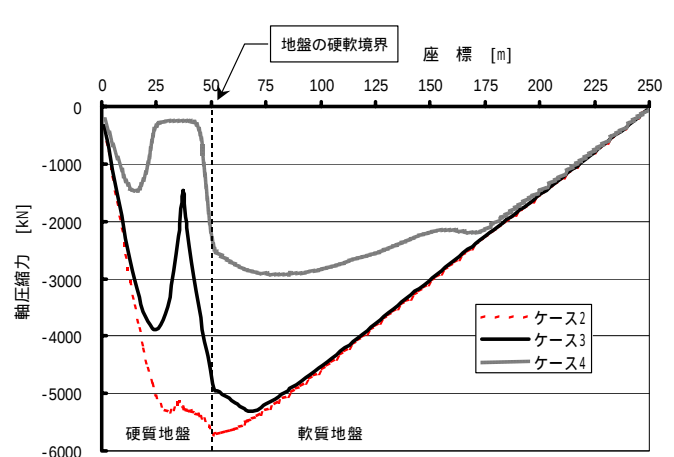


図 - 11 軸圧縮力最大値の分布

地盤条件にもよるが、地盤と管が容易にすべりを起こすような軟質地盤では、軸方向変位吸収継手による軸力低減効果は少ない。むしろ、硬質地盤側に使うことが効果的である。

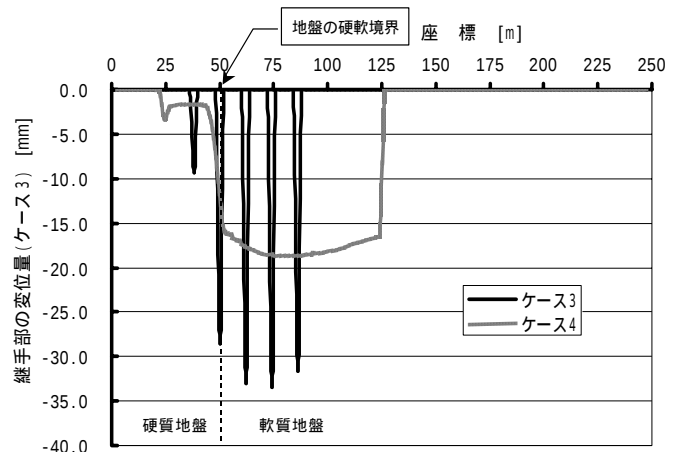


図 - 12 継手部の変位量最大値の分布

- 6) 図 - 12 を見ると、部分的に軸方向変位吸収継手を付けたケース 3 は、継手の箇所でのみ大きな変位量となる。ケース 4 は継手を設けた全区間で変位吸収効果が見られる。継手部の最大変位は -18.7mm とケース 3 の約 50% であり、変位吸収効果は軟質地盤側で大きい。クッション材としての低倍率発泡ポリスチレンの必要長さは 53mm になる。

また表 - 5 でのケース 4 は最大圧縮応力が 13.1N/mm^2 と管の許容圧縮強度 σ_{ma} にほぼ等しいから、わずかに破損を生じる程度と推測される。

軸方向変位吸収継手の設置間隔は経済性を考慮して検討する必要があるが、突っ込みに対応し、かつ軸圧縮力を緩和させる方法として、低倍率発泡ポリスチレンは妥当性のある材料と考える。

- 7) このほか、周面摩擦力 τ を粘着力の 50% として限界抵抗せん断力を設定した計算では、軸圧縮力・変位量ともに更に約 3~4 割低減する結果を得た。

7. まとめ

本検討では、地盤の硬軟急変部に布設された下水管きよを対象に、二次元等価線形動的解析結果 (Super-FLUSH) を利用した梁-バネ解析 (TDAP による二次元非線形時刻歴応答解析) により継手部の挙動を調べた。検討結果は次のように整理できる。

- 1) 地盤の硬軟急変部における地盤軸ひずみは、レベル 2 地震動で最大約 0.5%、想定最強地震動では約 3.5% である。最大値は、いずれも地盤境界から軟質側に若干寄った位置になる。
- 2) 推進工法による下水道管きよは、レベル 2 地震動に対して現行の規格製品の継手性能で、地盤の剛性急変化部における耐震性能(抜け出し)が確保されている。
- 3) ただし、今回の検討条件では、地盤の硬軟境界の付近で管きよは突っ込みになることが予測される。現行の推進管は突っ込み時に座屈する恐れがあるため、レベル 2 地震動・想定最強地震動で流下機能を確保するためには、突っ込みに対応した継手が必要である。
- 4) これに対応するため、突っ込み対応型の継手 (軸方向変位吸収継手) の基本構造を提案し、解析結果から構造条件を次のように整理した。

継手部の突っ込み対応用のクッション材には、低倍率発泡ポリスチレンを用いる。

低倍率発泡ポリスチレンの発泡倍率は、応力 - ひずみ関係と推進管の許容耐荷力との比較から発泡倍率 2.5 倍程度である。

想定最大強度の地震に対して、低倍率発泡ポリスチレンの長さは変位吸収継手を 12m 間隔で設置したケース 3 で約 96mm、継手に連続設置したケース 4 で 53mm 程度必要である。

推進の実施工に際して、継手毎に作用する軸力が異なるため、この軸方向変位吸収継手には、施工時に推力がかからないように配慮することが望ましい。

また、地盤の硬軟急変部の位置を事前に十分検討・推定し、経済性を考慮した的確な継手の設置間隔を検討する。

今後は、提案材料に対する実験検証が必要である。発泡ポリスチレンの特徴として、動的な性能特性にはひずみ速度も関係し、ひずみ速度 35/sec 付近に限界ひずみ速度が存在する⁹⁾ことが以前より知られている。実験の中では、こうしたひずみ速度と軸力との関係も明らかにする必要がある。

なお、今回の報告は想定最大強度である東海地震の地震動を用いての検討結果であるため、全ての地

区にこの検討結果が合致するとは考えにくい。地域ごとに、同様の検討を行なって検証することが望ましい。

参考文献

- 1) 竹内幹雄・小西康彦・相原素晴・高橋直樹ほか：想定最強地震動を用いた想定地盤急変化部で発生する地震時ひずみ、(社)土木学会 地下構造物の合理的な地震対策研究に関するシンポジウム、2006
- 2) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版、2006
- 3) (社)日本下水道協会・下水道地震対策技術調査検討委員会：兵庫県南部地震による下水道の被害に関する調査報告書、1996
- 4) 竹内幹雄・高橋 忠・元山宏・渡辺啓行：地盤剛性急変部の線状地中構造物の地震時応力評価法、土木学会論文集 第 422 号 / -14、1990
- 5) 荒川直士・常田賢一・木全俊雄ほか：地盤の地震時応答特性の数値解析法 - SHAKE - DESRA -、建設省土木研究所振動研究室、土木研究所資料第 1778 号、1982
- 6) (財)下水道新技術推進機構：下水道技術・技術審査証明報告書 下水道管渠用センプラカーブシステム、1994
- 7) (社)日本下水道協会：下水道推進工法の指針と解説 2003 年版、2003
- 8) 松原勝巳：線状地中構造物に対する地盤バネ定数について、(株)間組 ハザマ研究年報 - 1994
- 9) 二川暁美・山崎真治：衝撃荷重を局部的に受ける場合の発泡スチロールの動的圧縮応力 - ひずみ特性、(社)日本材料学会 Vol. 23, No. 253, 1974 (2007年6月29日提出)