

1. 研究背景

我が国では、地震や豪雨などによる斜面崩壊が多発しており、盛土保全が急務である。斜面崩壊の防止には、盛土の排水が有効である。現在、小口径鋼管杭工法¹⁾に用いる鋼管を盛土中に水平に埋設して、水平ドレーンとして使用する工法が提案されている。しかし、この工法で用いる薄肉鋼管は現場で溶接する必要があり、高度な溶接技術が求められる。このため、現場で鋼管を接続できる利便性の良い技術の開発が強く望まれている。

2. 研究目的

本研究では、鋼管を現場で接続する方法として、溶接に代わり、接着接合に注目する。はじめに、強度の観点から接着剤の選定を目的として引張せん断接着強さ試験²⁾を行う。次いで、現場への適用を想定して接着接合した鋼管の曲げ試験を実施し、強度ならびに力学的挙動を把握する。

3. 引張せん断接着強さ試験

3.1 試験概要と試験結果

試験片の形状を図-1、接着剤の物性値を表-1に示す。試験片は単純重ね合わせ接合継手とした。養生温度は、試験体の接着開始から試験場所の気温、接着厚さは接着前と接着後の板厚の実測値から算出した。接着剤は、高強度かつ常温硬化、短時間で強度が発揮されるもの。施工しやすいもの。比較的低コストで入手性が良いものという観点から接着剤を選定した。主に接着剤の粘度が大きく違い、接着剤Bの方が広い範囲で接着しやすい。

引張試験の結果を表-2に示す。最大荷重は、接着剤Bの方が接着剤Aよりも約1.5倍大きい。降伏荷

Bが42%となった。剥離時と作用荷重が小さい時の垂直応力分布を図-2に示す。各接着剤での荷重が小さい(50kN)時では、理論値と概ね一致しているが、剥離荷重時には接着部の端部で理論値と相違が見られる。このことから接着剤の剥離および破壊は端部から始まると言える。また、各接着剤のせん断応力と接着厚さの関係を図-4に示す。グラフから接着厚さが厚くなるほど端部のせん断応力は小さくなるのがわかる。養生時間も短く、接着厚さが薄い場合でも最大荷重が高いことや粘度も低く、塗布しやすい点から曲げ試験では接着剤Bを採用した。

表-1 接着剤の物性

接着剤	接着剤A		接着剤B	
	主剤	硬化剤	A剤	B剤
基材	変形アクリル	変形アクリル	変形アクリル	変形アクリル
比重	1.0	1.0	1.02	1.03
粘度 (Pa·s)	30	30	3	3
可使用時間	3分 (25°C)		3分20秒 (23°C)	
立ち上がり強度発現時間	15分 (25°C)		6分50秒 (23°C)	
実用強度発現時間	24時間 (25°C)		1時間 (21°C)	
せん断接着強度 (MPa)	16.2		27.1	
ヤング係数 (MPa)	620		1558	

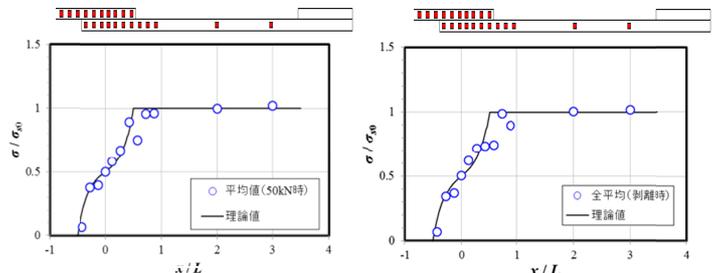


図-2 接着剤Bの垂直応力分布 (左: 50kN時, 右: 剥離時)

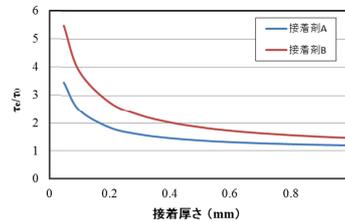


図-4 接着厚とせん断応力の関係

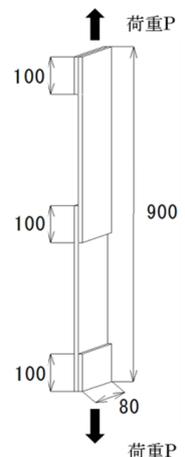


図-1 試験体形状

表-2 試験結果一覧

	試験体番号	最大荷重 kN	養生温度 T °C	せん断接着強度 (カタログ値) τ _i MPa	接着剤厚さ h mm	接着剤厚さ (平均値) mm	平均せん断応力 τ ₀ MPa	平均せん断応力 (平均値) MPa	端部のせん断応力 τ _c MPa	端部のせん断応力 (平均値) MPa
接着剤A	T-A-1	61.0	20.4	16.2	0.48	0.44	7.6	9.0	10.5	12.7
	T-A-2	68.2	22.1		0.43		8.5		12.1	
	T-A-3	86.5	21.0		0.42		10.8		15.5	
接着剤B	T-B-1	106.4	26.0	27.1	0.22	0.20	13.3	13.9	35.1	38.1
	T-B-2	95.2	24.9		0.20		11.9		32.8	
	T-B-3	131.3	25.6		0.19		16.4		46.4	

4. 鋼管の曲げ試験

4.1 接着・接合方法

曲げ試験では、引張試験によって選定した接着剤を用いて、鋼管を接着した。接合方法は、鋼管を突合せのように配置し、その接合部にさや管を被せ、接合した。接着方法は、鋼管およびさや管高さを調節し、両サイドから鋼管をスライドさせ、さや管にはめ込む形で接着を行った。接着剤は鋼管の外側およびさや管内部に塗布している。

4.2 試験概要と試験結果

本研究では、試験体の接合部に同様の曲げ応力が作用するように4点曲げ試験とした。試験体の寸法を表-3に示す。試験体は、さや管にスリットの有無により2種類に大別できる。さや管部のスリットは、接着しやすさを考慮し、設けている。さらに、スリットがない場合は、接着剤の厚さ（クリアランス）ならびにさや管長さをパラメータとした。

今回の試験結果を表-4に示す。スリットがある場合、鋼管単体の場合と比較して、最大荷重は約23%となった。スリットがない場合では、接着厚さが厚く、さや管長さが短いもの以外では、鋼管単体以上の強度を発揮した。スリットなし試験体の荷重-変位曲線を図-5に示す。この試験体では、グラフの赤丸部分にあるように、載荷中に何度か異音が発生し、同時に荷重の減少が見られた。この異音が発生した際に接着剤の剥離および破壊が起きており、1回目に異音が発生した時が接着剤の強度と考えた。

表-3 試験体寸法

		スリットあり		スリットなし					
		本管	さや管1	本管	さや管1	さや管2	さや管3	さや管4	
長さ	L	mm	1000	140	550	210		140	
外径	D	mm	139.8	148.8	76.3	89.1			
内径	d	mm	130.8	141.8	67.9	80.7	78.1	80.7	78.1
板厚	t	mm	4.5	3.5	4.2	4.2	5.5	4.2	5.5
接着厚さ	h	mm	-	1.0	-	2.2	0.9	2.2	0.9

表-4 曲げ試験結果一覧

スリットの有無	試験体名	1回目荷重減少時 P (kN)	1回目荷重減少時 (平均値) (kN)	最大荷重 P (kN)	最大荷重 (平均値) (kN)	理論降伏荷重 P_y (kN)	理論終局荷重 P_u (kN)
あり	B-2000mm-N-1	-	-	78.9	-	63.1	75.7
	B-2000mm-1.0C-1	-	-	24.6	18.0		
	B-2000mm-1.0C-2	-	-	11.3	-		
なし	B-1100mm-N-1	-	-	49.6	-	40.2	48.2
	B-1100mm-2.2C-3D-1	31.4	-	52.8	-		
	B-1100mm-2.2C-3D-2	16.0	27.3	60.9	56.0		
	B-1100mm-2.2C-3D-3	34.5	-	54.2	-		
	B-1100mm-0.9C-3D-1	12.6	-	59.8	-		
	B-1100mm-0.9C-3D-2	42.9	34.2	64.5	61.8		
	B-1100mm-0.9C-3D-3	47.0	-	61.1	-		
	B-1100mm-2.2C-2D-1	23.5	23.4	39.0	37.2		
	B-1100mm-2.2C-2D-2	23.3	-	35.3	-		
	B-1100mm-0.9C-2D-1	35.6	36.7	53.5	53.3		
	B-1100mm-0.9C-2D-2	37.7	-	53.1	-		

最大荷重を超えた後の破壊形態については、スリットがある場合では、さや管が外れて全体が崩れたが、スリットのない場合では、さや管と鋼管が外れることなかった。引張試験では、接着厚さが厚い方がせん断応力を緩和できるのに対して、曲げ試験では、接着厚さが薄い場合で高い強度となった。これは、薄い方が鋼管とさや管を接着しやすく、厚い方よりムラなく接着剤を塗布できたことが原因であると考えられる。安全性の検討として、埋設管の設計法³⁾を参照し、盛土深さ20mにおける土圧算出を実施したところ、スリットなしの場合では、1番小さいケースで約5倍程度の強度が得られた。

5. まとめ

本研究では、鋼管同士を現場で接続する方法の開発を目的とし、引張試験にて接着剤を選定後、曲げ試験で接着・接合方法を提案し、強度の検証を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 引張試験では、接着剤に強度確認を実施すると共に、試験結果と施工性の観点から接着剤Bを採用した。
- 曲げ試験では接着・接合方法を提案し、さや管長さ、接着厚さをパラメータに強度比較を実施したところ、接着厚さが薄くさや管長さが長いものが高い強度が得られた。
- 埋設管の設計法によって算出した土圧と比較したところ、盛土深さ20mにおいては1番小さいケースで約5倍程度の強度が得られた。

6. 参考文献

- 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工 - 戸建住宅から人工島まで -
- 日本工業規格：接着剤-剛性被接着材の引張せん断接着強さ試験方法 (JIS K 6850) 1999
- 土質工学会：地中埋設管の調査設計から施工まで

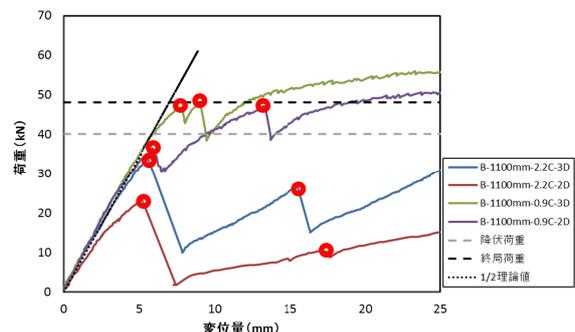


図-5 荷重-変位曲線(スリットなし試験体)