

トンネル脚部補強に用いるマイクロパイルの継手性能試験

(株)ケー・エフ・シー 正会員 ○羽馬 徹
(株)トマック 正会員 渡辺 徳

1. はじめに

マイクロパイルとは小口径（ $\phi 300\text{mm}$ 以下）の杭工法であり、補強材として鋼管等を用い、グラウトの加圧注入により地盤に定着させる工法である。本工法は狭隘な施工場所でも優れた機動性を有していることから、トンネルの脚部補強(図-1)¹⁾、山岳地での構造物基礎²⁾などで用いられている。一方、鋼管の継手は施工速度の向上を目的としたカップラー式ネジ継手を標準としているが、設計条件によってはその部材性能の評価が重要となる。ここでは、一般構造用炭素鋼管の継手に関する各性能試験を行い、基本的な耐荷性能の確認を実施した。

2. 試験概要

表-1 試験材料の仕様

試験に用いた鋼管、継手の諸元を表-1 に、試験ケースを表-2 に示す。なお、圧縮、曲げ試験に関してはマイクロパイルの実構造を考慮し、セメントミルクを鋼管内に充填したケースも実施した。

鋼 管	一般構造用炭素鋼管(STK400)
外径、肉厚	$\phi 165.2\text{mm}$, $t=7.1\text{mm}$
降伏点 σ_y	235N/mm^2
引張強さ σ_u	315N/mm^2
グラウト	セメントミルク(W/C=49.8%)
圧縮強度 σ_{ck}	30N/mm^2
継 手	カップラー式ネジ継手
材 質	STKM13A
外 径	$\phi 172\text{mm}$
長 さ	$L=200\text{mm}$

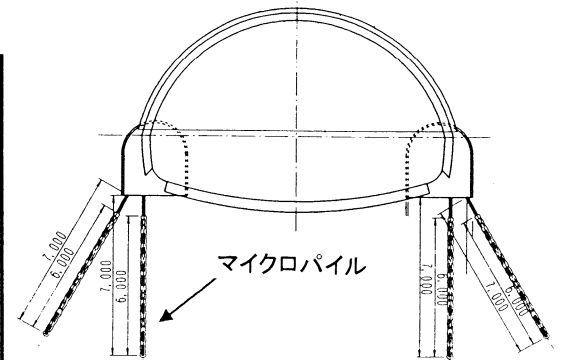


図-1 トンネルの脚部補強例

表-2 試験ケース

試験体種類	試験ケース		
	軸圧縮試験	軸引張試験	曲げ試験
鋼管(母材)	—	T-1	—
鋼管(母材)+継手	C-2	T-2	B-2
鋼管(母材)+継手+グラウト	C-1	—	B-1
試験体長	700mm	1000mm	1900mm

表-3 に試験結果と計算値の降

伏荷重を示す。ここで、試験結果の降伏荷重は、試験体中央区間における $P \sim \delta$ 上での接線剛性が初期剛性の $1/3$ となる荷重値と定義した。計算値は I : 鋼管を全断面有効として計算した場合、II : 鋼管のネジ加工による肉厚減少を考慮した場合の 2 通り行った。なお、計算には表-1 の規格値を用いている。

(1) 軸圧縮試験結果

図-2 に荷重～変位関係を示す。両ケースとも、鋼管ネジ加工部の欠損断面が内側に局部座屈した後、継手近傍の一般鋼管部が外側に座屈して荷重が決定した。グラウト有無の試験結果を比較すると、充填有の方が 1.7 倍ほど最大荷重が増加している。これは、グラウト圧縮耐力の寄与が大きいが、局部座屈に対する拘束抑制効果も発揮されたためと考えられる。

表-3 の試験結果と計算値を比較すると、鋼管を全断面有効として算定した計算値 I に対し、試験結果はグラウト有で 86%、無で 72% の比であった。これは、鋼管に施したネジ加工により、一般鋼管部に比べて肉厚の薄い部分が存在するためであり、鋼管を全断面有効として設計評価することは危険側であると考えられる。一方、ネジ加工による肉厚減少を考慮した計算値 II と各試験結果は比較的一致した。

(2) 軸引張試験結果

図-3 に引張試験における荷重～変位関係を示す。継手有は、鋼管ネジ加工部の一般鋼管部に最も近い欠損断面で破断した。また、表-3 の試験値と計算値の比較から、引張試験においてはネジ加工の影響により、設計値 I に対して継手有の試験降伏荷重が 63% の比であった。一方、設計値 II と継手有の試験降伏荷重が比較的一致しているため、引張

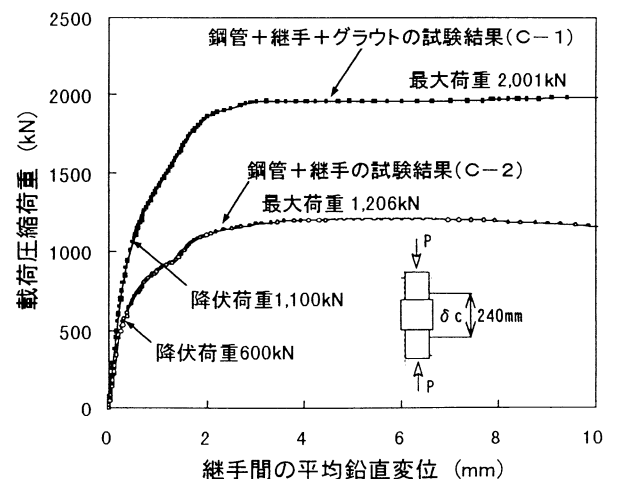


図-2 圧縮試験の荷重～変位関係

キーワード：マイクロパイル、鋼管、ネジ継手、トンネル、脚部補強

耐力の算定においてもネジ加工の影響を配慮した設計が必要であると考えられる。

(3) 曲げ試験結果

曲げ試験は単純梁で単調載荷を行った(図-4)。両ケースとも、一般鋼管部が全塑性状態になる前に鋼管ネジ加工部の引張縁が破断した。表-3 の降伏荷重の計算値と鋼管+継手の試験結果(B-2)を比較すると、曲げ試験においてはネジ加工の影響による降伏耐力の低下が見られなかった。なお、計算値は鋼管のみの部材を考慮して算定したものである。図-5 に試験荷重と変位関係から求めた曲げモーメント M ~ 曲率 ϕ 関係を示す。また、同図には鋼管母材を全断面有効とした①鋼管のみ、②鋼管+グラウトの曲げ剛性 EI を示す。試験結果と計算値を比較した場合、 M ~ ϕ 関係の勾配で表される曲げ剛性はネジ加工の影響を受け、グラウトの有無に関わらず剛性が低下している。この図からは、鋼管のみの設計①と、グラウト充填有の試験結果 (B-1)の曲げ剛性が一致しているようである。

4. まとめ

各性能試験結果から、本タイプの継手を含んだ杭体について以下のような設計評価が考えられる。

①圧縮特性

グラウトは全断面有効とするが、ネジ加工による鋼管の肉厚減少を考慮し、グラウトと鋼管の単純累加で圧縮耐力を評価することが妥当である (表-3:*1)。ただし、簡易的には鋼管内のグラウトを設計上は無視し、全断面有効の鋼管のみの部材で安全側に設計評価することが考えられる (表-3:*2)。

②引張特性

ネジ加工部の鋼管断面積を考慮し、鋼管断面を低減させて引張耐力を評価することが必要である。

③曲げ特性

簡易的ではあるが、鋼管内のグラウトを設計上は無視し、全断面有効の鋼管部材のみで曲げ剛性・耐力を評価することが考えられる。

以上、一般構造用炭素鋼管のカップラー式ネジ継手に関する性能評価を検討した。トンネルの脚部補強が増えているなか、このような継手性能が設計検討時にお役に立てば幸いである。最後に、本実験の実施と多大な助言を頂いた住友金属工業(株)建設技術部の方々に深く感謝申し上げます。

【参考文献】1)ジェオフロンテ研究会：脚部補強工技術資料，1995。

2)渡辺ら：L型擁壁基礎に適用したマイクロパイルの施工例，土木学会第54回年次学術講演会(VI)，1999。

表-3 試験結果と計算値の比較

試験種類	NO.	試験体構成	試験結果		計算値 I	計算値 II
			降伏荷重 Py(kN)	最大荷重 Pu(kN)	降伏荷重 Py(kN)	降伏荷重 Py(kN)
軸圧縮	C-1	母材+継手+グラウト	1100(86%)	2,001	1,278	*1) 1,089
	C-2	母材+継手	600(72%)	1,207	*2) 830	607
軸引張	T-1	母材	930(112%)	1,462	830	607
	T-2	母材+継手	520(63%)	1,158		
曲 げ	B-1	母材+継手+グラウト	240(120%)	363	200 (鋼管部材のみ考慮)	—
	B-2	母材+継手	220(110%)	334		

()内は計算値 I を基準とした場合に対する試験結果の比

計算値 I : 鋼管を全断面有効とした計算値

計算値 II : 鋼管のネジ加工による断面欠損を考慮した計算値

*1: $P_y = \sigma_y \times A_{sk} + 0.85 \times \sigma_{ck} \times A_g$

(A_{sk} : 断面欠損を考慮した鋼管断面積, A_g : グラウトの断面積)

*2: $P_y = \sigma_y \times A_s$ (A_s : 断面欠損を考慮しない全断面有効の鋼管断面積)

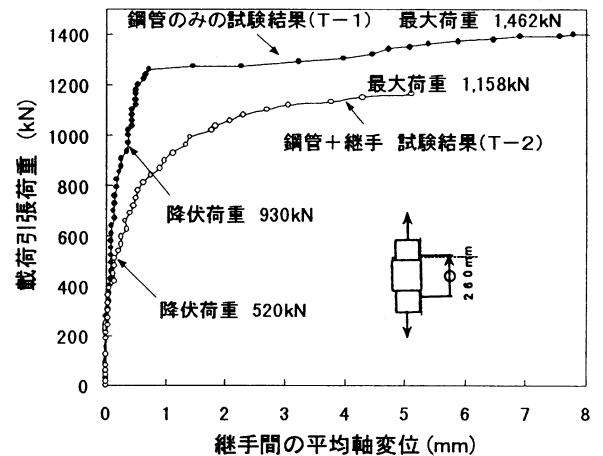


図-3 引張試験の荷重～変位関係

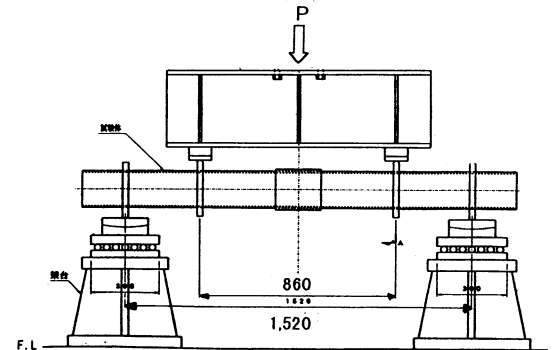


図-4 曲げ試験の載荷概要

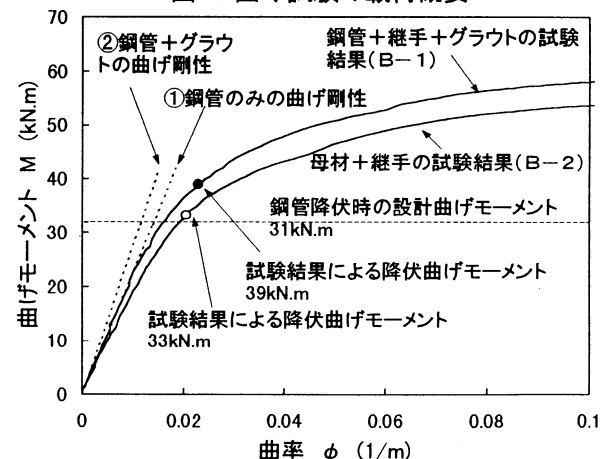


図-5 曲げ試験の M ~ ϕ 関係