

曲げ耐力の大きいワンタッチ接合式 長尺フォアパイリングの開発

伊藤 哲¹・木梨 秀雄¹・畑 浩二²・中岡 健一²

¹正会員 株式会社大林組 土木本部トンネル技術部 (〒108-8502 東京都港区港南二丁目15-2)

E-mail:ito.s@obayashi.co.jp

²正会員 株式会社大林組 技術研究所地盤技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清瀬四丁目640)

本研究では従来のAGF工法で構造上の弱点であったねじ式継手に替え、高耐力かつワンタッチで接合が容易な新しい工法を開発した。ワンタッチ式継手の採用で継手部の耐力が向上するとともにねじ切り加工が不要となり、鋼管の薄肉化が可能となった。室内における曲げ耐力試験より、ワンタッチ式継手の曲げ耐力は、従来のねじ式継手と比べ約2倍かつ素管部と同等以上を有することが分かった。また、現場における施工性実証試験より、継手部の接続時間が短縮でき施工性が向上する結果が得られた。鋼管の薄肉化により材料重量が20%低減するため、コスト削減およびCO₂排出量の削減も可能となる。

Key Words : joints of one-touch operation, AGF, high-strength, cutdown of the cost and CO₂ emission

1. はじめに

トンネル天端安定化のための長尺フォアパイリングのうち、図-1に示すAGF工法はもっとも多く適用されている代表的工法である。本工法においては鋼管を通常、図-2のように3mごとと接続し、接続部は写真-1に示すねじ継手が一般的である。本研究では、ねじ継手に替え、ワンタッチで接合可能な新しい継手を開発した。この継手の曲げ耐力はねじ継手より大きく、素管の肉厚を一般

的に用いられている6mmから4.2mmへと薄肉化した。すなわち、従来弱点であった継手部の耐力を高め、薄肉化を図りながらも実質曲げ耐力を増強した。同時に、ワンタッチ式継手の採用と薄肉化により、作業性の向上とコストダウンを図った。

以下では、長尺フォアパイリングの耐力に関する課題を述べた上で、鋼管と継手部の曲げ耐力試験および新工法の施工性実証試験の結果について述べる。

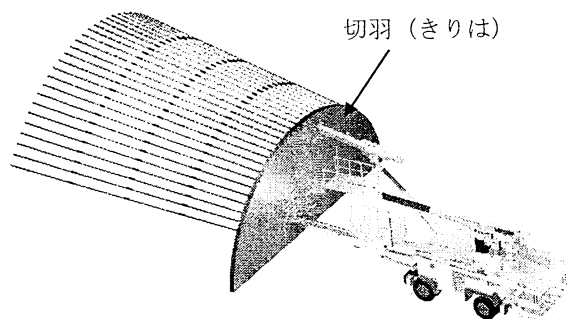


図-1 AGF工法の概要

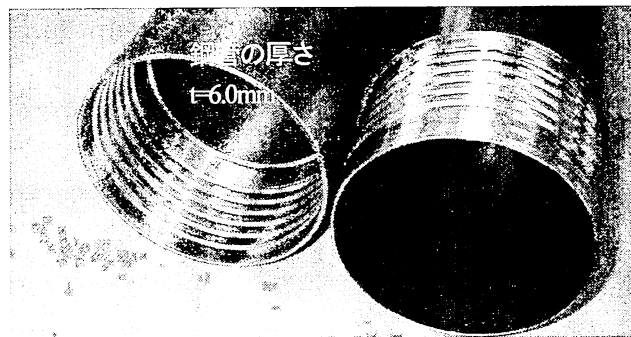


写真-1 従来の鋼管のねじ継手部

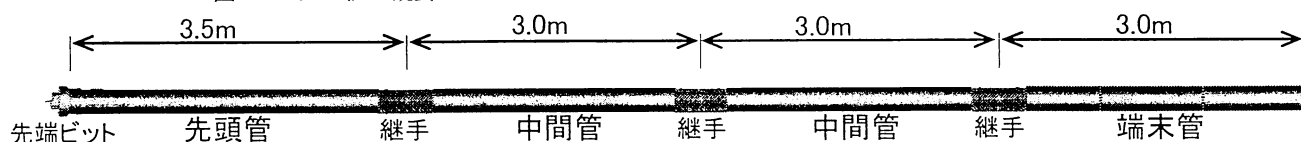


図-2 AGF工法における鋼管の構成

2. 長尺フォアパイリングの耐力に関する課題

AGF 工法において通常用いられている鋼管は、材質 STK400、外径 114.3mm、厚さ 6mm で、単位長さ約 3m の鋼管 4 本をねじ継手で接続するものである。鋼管の打設は通常、トンネル現場に常備されているドリルジャンボで行い、セメント系またはウレタン系材料を注入している。鋼管外径は 101.6mm のケースもあるが、ねじ継手加工後の厚さが薄くなり、曲げ耐力が低下するため、実際の現場ではほとんど適用されていないのが現状である。したがって、鋼管外径 114.3mm、厚さ 6mm が実用的な仕様となっている。換言すると、ねじ部の加工による鋼管の残肉の限界から厚さを 6mm 以上とする必要があった。

先受け鋼管は、トンネル掘削時に上方から曲げ荷重を受ける部材である。図-3 は脆弱な泥岩地山での先受け鋼管応力測定の実測例である。この例では、トンネル掘進に伴い鋼管に降伏点 240N/mm^2 を超える曲げ応力が作用したことがわかる。この付近の切羽では、小規模な崩落が頻発しており、鋼管に大きな土圧が作用したものと考えられたため、鋼管を二重打設に変更した。しかしながら、その後地山状況が悪化して写真-2 のように切羽が崩落した。写真-3 に、この時発生したねじ継手の曲げ破壊状況を示す。また、別の事例では、鋼管の曲げ応力が最大 150N/mm^2 まで達した直後に切羽崩落が発生している¹⁾。このケースでは鋼管強度 400N/mm^2 の約 4 割で破壊を起こしている。

以上のことから、切羽が崩落するようなケースで鋼管のねじ継手は弱点になっており、増強が必要と考えた。そこで、本研究では鋼管継手の曲げ耐力の増強を図ることとし、あわせて素管部と継手部の曲げ耐力の均衡も図った。

3. 新工法の特徴と概要

写真-4 に新たに開発した長尺フォアパイリングの継手部を示す。従来工法の継手部は鋼管の端部におねじとめねじを加工するのに対し、新工法の継手部は鋼管の端部に凸部、鋳物製の継手部に L 型の凹部を設けた構造である。新工法では、ねじ切り加工が不要となるため、従来工法では 6mm 必要であった鋼管の厚さを 4.2mm に薄肉化することが可能となった。

新工法の継手部の接合方法は図-4 に模式的に示すように、鋼管を継手部に挿入し約 1/16 回転させることで容易に接合できる。継手部には逆転防止部を設けており、接合後は鋼管と継手が外れない構造である。従来工法は、

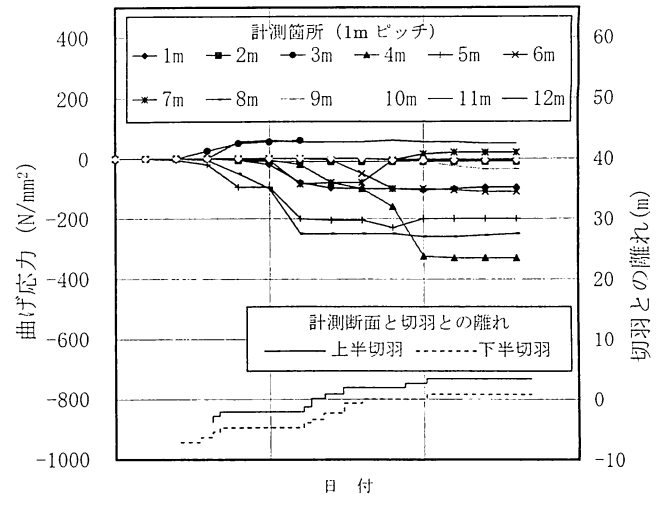


図-3 先受け鋼管応力測定の実測例



写真-2 切羽崩落事例

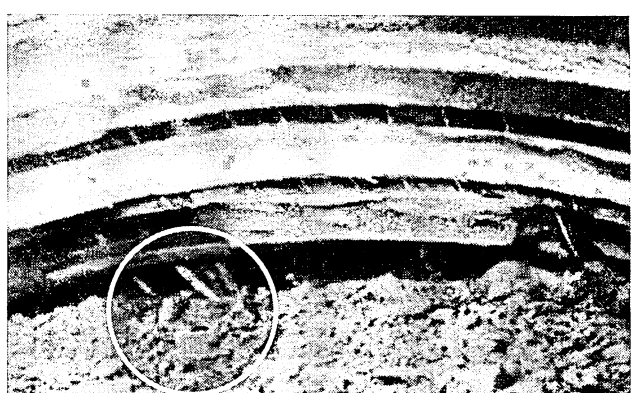


写真-3 鋼管の曲げ破壊状況

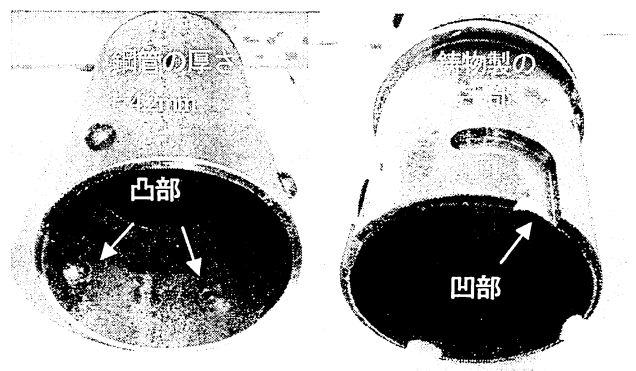


写真-4 ワンタッチ接合式長尺フォアパイリングの継手部

専用工具によりねじ山数分の 6 回転して締め付ける必要があった。

また、鋼管の薄肉化により継手部を含む鋼管重量の軽量化ができ、同時にコストダウン、CO₂排出量の削減ならびに施工性の向上を図った。表-1に3mあたりの鋼管重量とCO₂排出量を示す。ここでCO₂排出量は、建物のLCA指針²⁾に則って算出した。継手部を含む長さ3mあたりの鋼管重量は、従来工法では48kgであるのに対し、新工法は鋼管が34.2kg、継手部が3.6kgの合計37.8kgであり、従来工法に比べ約20%低減できる。生産段階における単位重量あたりのCO₂排出量は、「普通鋼鋼管」で0.979 kg、「铸铁管」で2.157 kgであるため、この値に鋼管および継手部の重量を乗じてCO₂排出量が算出できる。鋼管3mあたりのCO₂排出量は、従来工法では46.992 kgに対し、新工法では41.247 kgであり、従来工法に比べCO₂排出量が12%削減できる。

施工性の向上は以下の2点により可能となる。①継手部がワンタッチで接合可能なため、接合時間が短縮する②鋼管重量が軽量化し作業の負担が軽減する。

4. 鋼管継手部の曲げ耐力試験

室内において、ワンタッチ式継手と従来のねじ継手の曲げ耐力試験を実施した。図-5 に曲げ耐力試験の概要を示す。鋼管と継手部の供試体は実寸大で、外径φ114.3mm、長さ 1.100mm である。鋼管の内部には、早強プレミックスモルタルを充填した。表-2 に早強プレミックスモルタルの配合を示す。曲げ耐力試験は注入材打設後 24 時間で実施した。本試験には、最大载荷荷重 1.500kN の MTS 社製高剛性試験機を用いた。図-5 の矢印に示すように 4 点曲げ試験で実施した。この载荷条件では上部载荷点間 400mm の鋼管の曲げモーメントが一樣となる。载荷速度は毎分 1mm の変位制御とした。図-6 に示すように供試体の中央および中央から 100mm の位置に高感度変位計を、供試体の上部および下部に供試体軸方向の一軸ひずみゲージを各々 8 箇所合計 16 箇所設置し、曲げ試験時の供試体の挙動を計測した。試験ケースを表-3 に示す。従来工法および新工法の各々に関し、素管部と継手部の合計 4 ケースで曲げ耐力試験を実施し比較検証した。

試験により得られた曲げモーメントと変位の関係を図-7に示す。図の変位は供試体中央の値を示す。また、表-4には本試験で得られた従来工法と新工法の曲げ耐力の一覧を示す。曲げ耐力は、各々のケースにおける最大の曲げモーメントの値を採用した。図より新工法のワンタッチ式継手の曲げ耐力は23kNmとねじ継手の12kNm

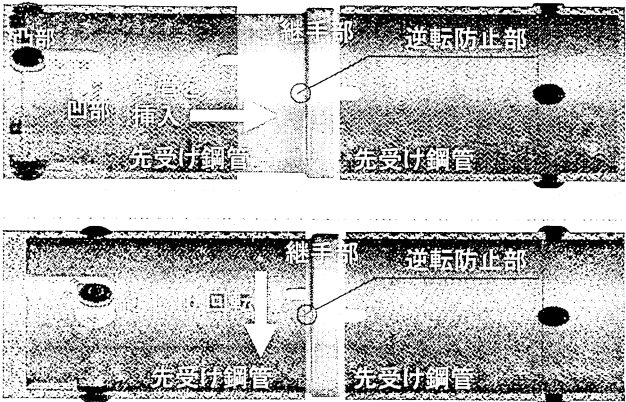


図-4 新工法の接合方法

表-1 3m あたりの鋼管重量と CO₂ 排出量

長尺フォアパイプの種別	重量 (kg)			CO ₂ 排出量 (kg)
	鋼管	継手部	合計	
従来工法	48.0	—	48.0	46.992
本工法	34.2	3.6	37.8	41.247

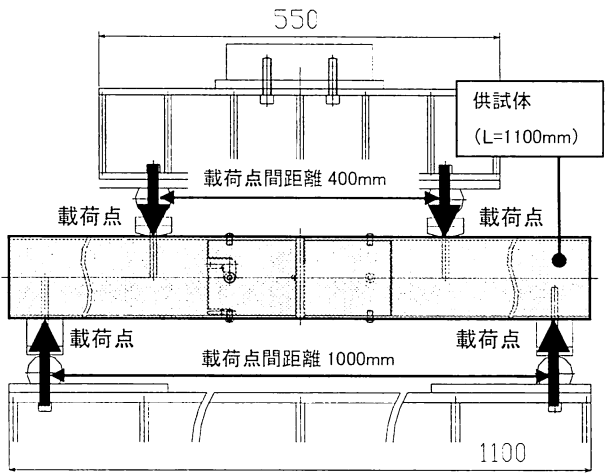


図-5 曲げ耐力試験の概要

表-2 早強プレミックスモルタルの配合 (20kg あたり)

種類	重量
早強セメント	9.0 kg
特殊混和材	1.0 kg
細砂	10.0 kg
水	5.5 kg

表-3 試験ケース

ケース No.	長尺フォアパイプの種別	供試体種類	鋼管の厚さ	継手の形状
1	従来工法	素管部	t=6.0mm	—
2		継手部	t=6.0mm	ねじ
3	本工法	素管部	t=4.2mm	—
4		継手部	t=4.2mm	ワンタッチ

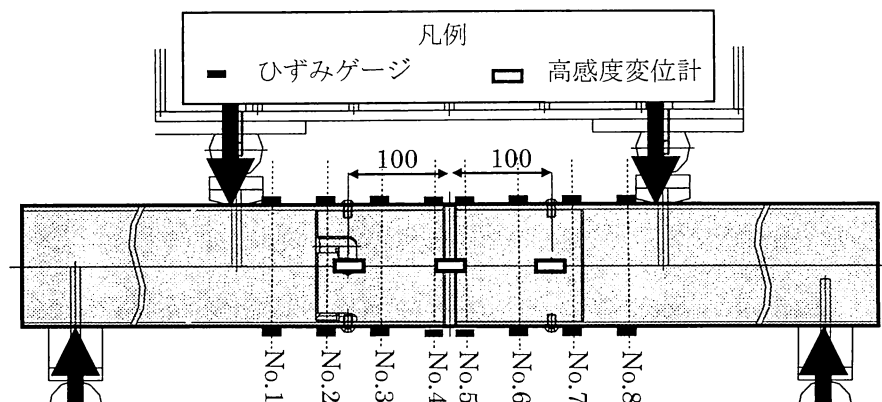


図-6 高感度変位計およびひずみゲージの設置位置

を大きく上回るとともに、 $t=4.2\text{mm}$ の素管部の耐力 20kNm と同等以上の耐力を有することが分かった。これにより継手部と素管部の曲げ耐力の均衡が取れ、従来の弱点が解消された。一方、従来のねじ継手の曲げ耐力は 12kNm であり $t=6\text{mm}$ の素管部の曲げ耐力 31kNm の38%に過ぎず、継手部は 12kNm で急激に破壊に至る様子が分かる。

図-8、図-9にねじ継手の供試体上部および下部の軸方向ひずみを示す。供試体上部では荷重中心を境にした前後2点のNo.4、No.5において圧縮ひずみが増加する挙動を示している。一方、下部ではNo.4の引張ひずみが卓越する傾向が見られた。これらの傾向からねじ式継手は継手部の極近傍に応力集中が生じていると考えられる。

図-10、図-11にはワンタッチ式継手の供試体上部および下部の軸方向ひずみを示す。ワンタッチ式継手の場合、供試体上部では荷重中心より軸方向外側のNo.1、No.8およびその内側のNo.2、No.7で圧縮ひずみが卓越する傾向が見られた。供試体下部はNo.2、No.7の引張りひずみが卓越する傾向となった。一方で供試体の上部、下部とも鋳物継手のある部分のNo.3～No.6のひずみはほとんど発生していない。

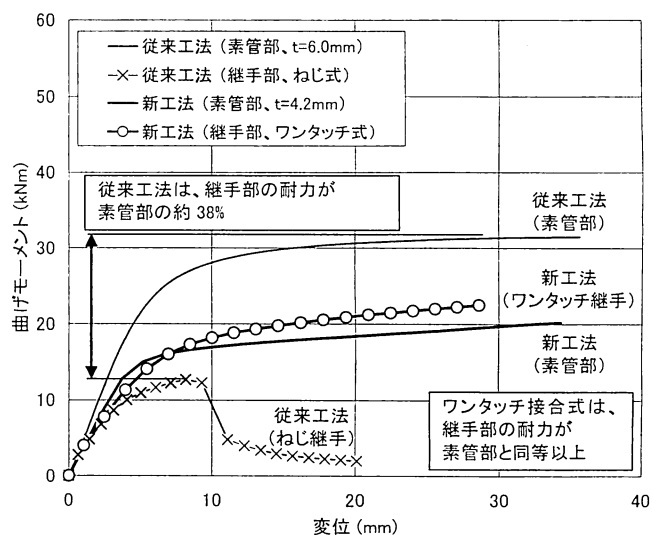


図-7 曲げモーメントと変位の関係

表-4 従来工法と新工法の曲げ耐力の一覧

	外径mm	断面積	断面係数	曲げ耐力 kNm※	
	肉厚mm	cm ²	cm ³	素管部	継手部
従来工法	φ114.3 t6.0	20.41	52.5	31	12
本工法	φ114.3 t4.2	14.52	38.6	20	23

※ 曲げ耐力は、荷重荷重を曲げモーメントに換算して算出した

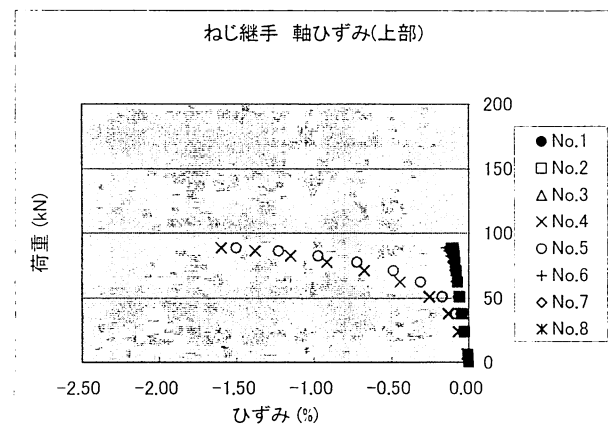


図-8 供試体上部の軸ひずみ (ねじ継手)

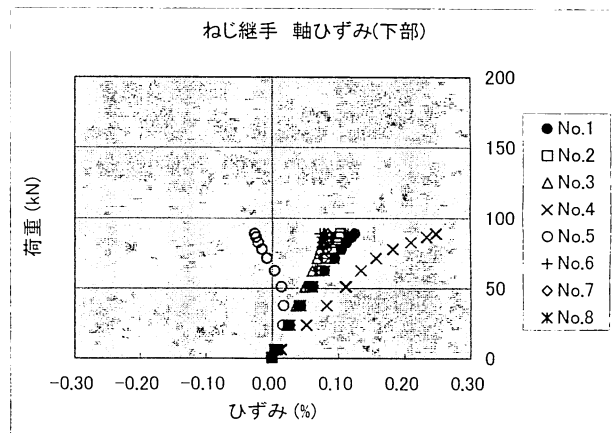


図-9 供試体下部の軸ひずみ (ねじ継手)

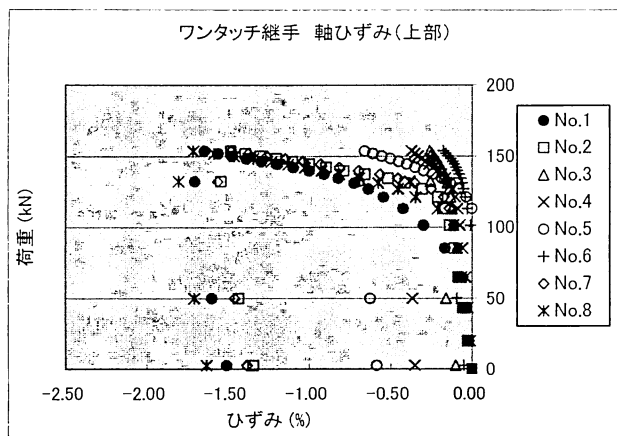


図-10 供試体上部の軸ひずみ (ワンタッチ継手)

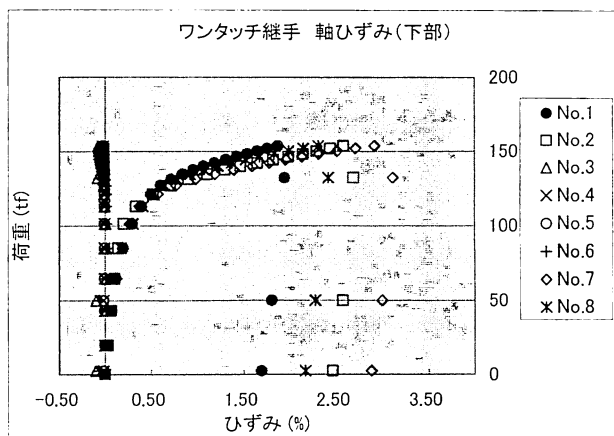


図-11 供試体下部の軸ひずみ (ワンタッチ継手)

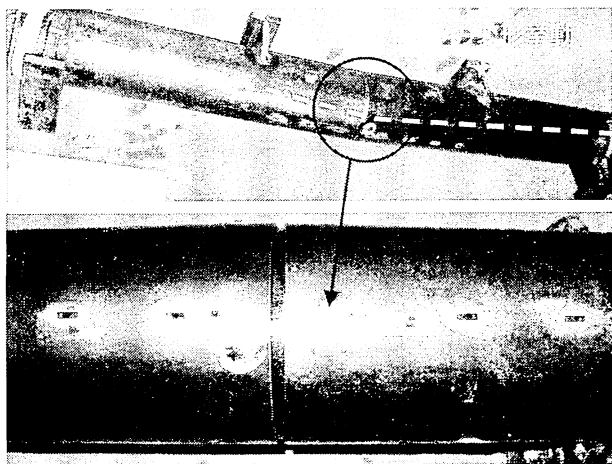


写真-5 試験後の供試体変形状況 (ねじ継手)

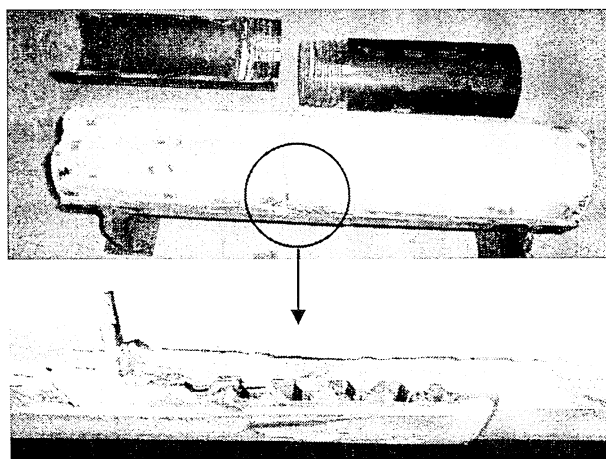


写真-6 供試体解体状況 (ねじ継手)

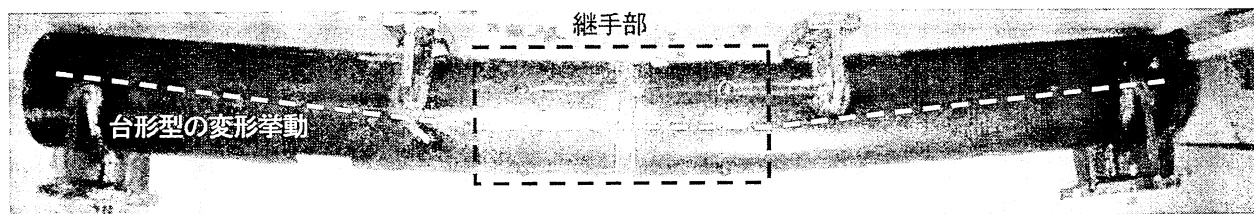


写真-7 試験後の供試体変形状況 (ワンタッチ継手)

写真-5にねじ継手の試験後の供試体変形状況を、写真-6に供試体解体状況を示す。ねじ継手が開口しており、ねじ部を境にしてV字型に変形している。また、噛み合っていたねじ部同士がずれ、めねじがおねじを乗り越えるように変形しており、急激に曲げ耐力が低下し破壊に至ったと推測される。写真-7にワンタッチ式継手の試験後の供試体変形状況を、写真-8に供試体解体状況を示す。ワンタッチ式継手の変形形状は、曲げ剛性の高い継手部において直線近く、それ以外の部分で弓状に変形し、全体として写真-7のように台形型の変形を示していると考えられる。これは継手部が鋳物継手と鋼管の二重構造のため、大きな耐力を発揮したためと思われる。継手部両端箇所の注入材にクラックが発生している以外は、鋼管および継手に大きな損傷が認められなかった。

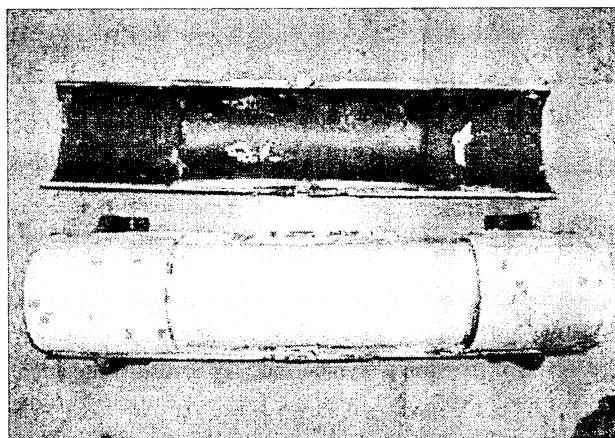


写真-8 供試体解体状況 (ワンタッチ継手)

5. 現場における施工性実証試験

山岳トンネル工事現場において、新工法の実証試験を行い、鋼管施工の確実性および継手部の接続状況、排泥状況等の施工性を確認した。試験は上半鏡面に新しく開発した長尺鋼管フォアパイリングを3本打設した。鋼管の長さは3mの鋼管4本を接続したL=12mとした。施工機械はこれまでと同様ドリルジャンボを使用した。当該地山は変形係数E=52.5MPa程度の軟質な風化花崗岩である。

表-5に試験結果の鋼管削孔時間を、写真-9に本試験における鋼管の接合状況を示す。AGF工法積算資料³⁾によれば、鋼管の標準接合時間はねじ式で10分、ソケット式7分であるのに対し、新工法の鋼管継手部の接合時間は平均で2分であった。このため、従来工法に比べ大幅な接合時間の短縮が可能となる。また、試験後作業員にヒアリングを実施したところ、鋼管の軽量化により作業時の負担が軽減したとの意見を得た。このため、鋼管の軽量化もサイクルタイムの向上に効果が現れると考えられる。また、削孔時の排泥に関しても、これまでと同様、施工性は良好であった。

表-5 鋼管削孔時間

	長さ	削孔時間	鋼管接続時間
① 先頭管	L=3.0m	3分	
② 中間管	L=3.0m	3分	2分
③ 中間管	L=3.0m	3分30秒	2分30秒
④ 末端管	L=3.0m	3分10秒	1分30秒



写真-9 鋼管の接合状況

6. おわりに

本研究の結論を以下に述べる。

- ・ワンタッチ式継手の曲げ耐力は 23kNm で従来のねじ式継手 12kNm の約 2 倍に向上した。また、新工法は継手部と素管部の曲げ耐力がほぼ同等の約 20kNm であり材料耐力のバランスが取れ、長尺鋼管フォアパイリング全体の実質の曲げ耐力を増強することができた。
- ・ワンタッチ式継手はわずか 1/16 回転で容易に接合できる。さらに上記のように継手部の曲げ耐力が増強したことで、素管部の肉厚を従来の 6.0mm から 4.2mm へ薄肉化することが可能となった。これに伴い従来工法と比べ施工性の向上が可能となる。
- ・鋼管の薄肉化で材料重量が 20%軽量化するため、コストダウンおよび CO₂排出量の削減が可能となる。生産段階での CO₂排出量は従来工法に比べ 12%の削減を図れる。

なお、新工法は新日本製鐵(株)、東尾メック(株)、(株)ティエムシー、(株)大林組との共同開発品である。

参考文献

- 1) 宮村憲正, 高橋忠成, 樋口敏一:小土被り部の掘削における崩落及び原因と対策工, 臨床トンネル工学, 特集号 4, p.89-101, 2009
- 2) (財)日本建築学会地球環境委員会:建物の LCA 指針 (2003 年 2 月発行) 付録 CD-ROM の訂正版, 2003
- 3) ジェオフロンテ研究会:注入式長尺式先受工法 (AGF 工法) 第四版 (積算資料), p36, 2007

DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH STEEL PIPE FOREPILING WITH THE JOINTS OF ONE-TOUCH OPERATION

Satoshi ITO, Hideo KINASHI, Koji HATA and Kenichi NAKAOKA

In this paper, the development of new high-strength steel pipe forepiling with the joints of one-touch operation will be presented. This newly developed steel pipe forepiling does not require the screw thread cutting for joint connection. As a result, the increased strength of the steel pipe has made possible the thinner steel pipe compared to conventional products. The results of bending test have demonstrated that the strength of one-touch joint is twice as much as that of the conventional screw thread type joint. This means that one-touch joint strength is as well or better than the material strength of steel pipe. The 20% reduction of steel pipe material will enable the cutdown of the cost and CO₂ emission.