

施工効率化を目的とした 鋼製支保工の天端継手構造の検討

日向 哲朗¹・稲田 匠吾²・西原 直哉³・土永 直毅⁴・砂金 伸治⁵

¹正会員 安藤ハザマ 建設本部土木技術統括部技術第三部 (〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20)
E-mail: hyuga.tetsuro@ad-hzm.co.jp

²正会員 安藤ハザマ 建設本部土木技術統括部技術第三部 (〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20)
E-mail: inada.shogo@ad-hzm.co.jp

³株式会社マシノ (〒733-0822 広島市西区庚午中 1-19-23)
E-mail: nishihara@mashino.co.jp

⁴株式会社マシノ (〒733-0822 広島市西区庚午中 1-19-23)
E-mail: tsuchinaga@mashino.co.jp

⁵正会員 首都大学東京 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail: nisago@tmu.ac.jp.

2016年に厚生労働省より通知された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」に示されるように、切羽直下での作業時において肌落ちによる重篤な災害が後を絶たず、切羽直下における危険性の高い作業の軽減が望まれる。

鋼製支保工の建込み作業においては、天端継手部の接合時に切羽直下の作業が必要である。今回、鋼製支保工天端継手部のボルト接合時間を短縮することを目的として、従来の天端継手部とは異なる構造の継手部を考案し、その性能を室内試験により確認した。その結果、新たに考案した継手部の曲げ抵抗性能は、従来の継手部と同等であることが明らかになった。

Key Words: steel support, joint, splice plate, connected mechanism

1. はじめに

2016年に厚生労働省より通知された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」に示されるように、切羽直下での作業時において肌落ちによる重篤な災害が後を絶たず、切羽直下における危険性の高い作業の軽減が望まれる。

トンネル上半に設置する鋼製支保工は左右に2分割され、天端部に継手が設けられている。天端部の継手をボルトナットで接合する作業は切羽直下において行う必要があり、危険性の高い作業となる。

今回、切羽直下における鋼製支保工天端継手部のボルト接合時の作業時間を短縮し、安全性を向上させることを目的として、従来の天端継手部とは異なる構造の継手部を考案し、曲げ耐力などの性能を室内試験により確認した。その結果を報告する。

2. 天端継手構造

(1) 現状の天端継手構造

現状の天端継手構造について、国内の道路トンネルに

おいて一般的に採用されている構造を図-1に示す。天端継手は2箇所のボルト孔が設けられた継手板と、ボルトナットにより構成され、継手板はH形鋼の端部に溶接されている。継手板の形状と厚さはH型鋼のサイズ毎に定められており、全国的に同じ形状が採用されている。ボルトナットとボルト孔の寸法については発注者によって差が見られ、図-1ではボルトナットの寸法はφ22×70(孔径φ25)であるが、φ20×70(孔径φ22)の採用例もある。

2箇所のボルト孔はウェブをはさんで坑口側と切羽側の配置になるため、切羽側のボルト孔を接合する際は、目視確認できない狭隘な空間に手を入れて行う必要があり、特に危険性の高い作業となる。

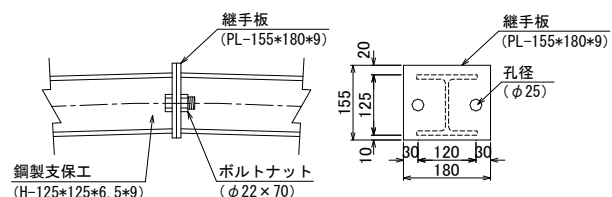


図-1 道路トンネルの天端継手構造 (H-125の例)

(2) 施工効率化のための方策

天端継手部のボルトナットによる接合時間を短縮し、施工効率化を図るための方策として、以下の対応を考えた。

- ・現状で採用されているねじの回転によるボルトナットの接合を、ワンタッチ式の別の接合方法に変更することで作業時間を短縮する。
- ・現状の継手部はウェブをはさんで切羽側と坑口側の2箇所でもルト接合する構造であるが、ボルト接合位置を坑口側2箇所に変更する。目視確認できない切羽側のボルト接合作業をなくし作業を容易にすることで、作業時間を短縮するとともに作業時の安全性も高める。

3. 施工効率化を目的とした継手構造

2.(2)に示した方策を具体化した継手構造として、以下の2案を選定した。

(1) ワンタッチ式のナット（ワンサートナット）の採用

ワンタッチ式のナットの概要を図-2に示す。このナットは、ボルト挿入時にナット内面のねじ部が拡張する機構を有しており、図-2に示す矢印の方向からボルトを挿入すると、ボルトを回転させずに挿入・締結できるものである。継手板の形状は従来通りとし、ナットのみを変更する。

ワンサートナットと通常の六角ナットの寸法の違いを表-1に示す。ワンサートナットは拡張機構をナット内部に収納することから、二面幅B、高さHともに通常の六角ナットより大きい値となっている。

(2) 片側2箇所でもルト接合する継手板の採用

2箇所のボルト接合位置を両方とも坑口側に配置するものである。概要図を図-3に示す。継手板中心をH形鋼中心より坑口側に寄せて坑口側の板面積を増やすことで、2箇所のボルト孔間隔を確保している。

4. 継手構造の性能確認試験

3.に示した2案の継手構造が通常の継手構造と同等の性能を有しているかを確認するため、鋼製支保工 H-125の天端継手部を模擬した供試体を用いた性能確認試験を行った。

トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説では、鋼製支保工の性能および効果の概念¹⁾の中で、鋼製支保工の性能として、軸圧縮抵抗性能、せん断抵抗性能、曲げ抵抗性能の3つを示している。今回選定した2案の継手構造では、軸圧縮抵抗性能については通常の継手構造と変

わらないと考えられる。そこで試験内容は曲げ抵抗性能とせん断抵抗性能を比較するものとし、アムスラー型万能試験機による3等分曲げ試験と2面せん断試験を行うこととした。

試験ケースを表-2に示す。継手板の種類と板厚t、使用ナットの組み合わせから計4ケースを設定した。

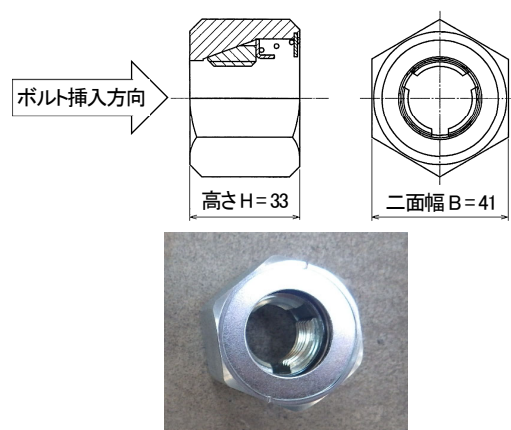


図-2 ワンタッチ式のナット（ワンサートナット）の構造と外観

表-1 通常の六角ナットとワンサートナットの寸法

ナットの種類	二面幅 B	高さ H
六角ナット M22	32mm	18mm
ワンサートナット M22	41mm	33mm

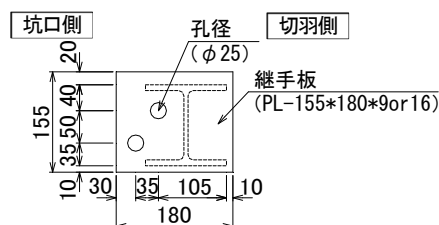
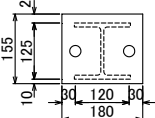
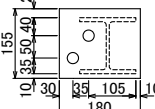


図-3 片側2箇所でもルト接合する継手板

表-2 3等分曲げ試験と2面せん断試験の試験ケース

試験ケース	継手板	ナット	ボルト
1.通常の継手	通常の継手板 t=9mm	M22 強度区分 4	M22 70mm 強度区分 4.8
2.ワンタッチ式		ワンサート ナット M22 強度区分 4相当	
3.片側 2 孔 t=9mm	片側 2 孔の継手板 t=9mm, 16mm	M22 強度区分 4	
4.片側 2 孔 t=16mm			

(1) 3等分曲げ試験

a) 供試体の寸法と载荷方法

供試体の基本形状と寸法，载荷位置を図-4に，曲げ試験状況を写真-1に示す。試験荷重 P は，2箇所の3等分点に $P/2$ ずつ载荷される。

b) 測定項目

3等分曲げ試験における測定項目を表-3に，測定位置を図-5に示す。測定項目は鉛直変位と継手板の目開きとした。鉛直変位は5箇所の値を荷重と合わせてデータロガーで自動測定し，目開きは2箇所の値をコンベックスにより測定した。

c) ボルトの発生応力と試験荷重との関係

通常の継手における曲げ試験供試体の継手板の形状・寸法を図-6に示す。

供試体を直線部材と見なし，曲げモーメントに対し，2本のボルトの引張力 T_s と上側フランジの圧縮力 C_s' で抵抗するものと仮定すると，試験荷重 P とボルトの発生応力 σ_s との関係は以下の通りになる。

$$M = PL/6 = T_s \cdot d = 2 A_s \cdot \sigma_s \cdot d \quad (1)$$

M : 試験荷重 P により供試体に生じる曲げモーメント(Nmm)

P : 試験荷重(N)

L : 曲げスパン(mm)

T_s : 2本のボルトに作用する引張力(N)

d : 上側フランジとボルトとの距離(mm)

A_s : ボルトの断面積(mm²)

σ_s : ボルトに発生する引張応力(N/mm²)

式(1)を変形すると式(2)が得られる。

$$P = 12 A_s \cdot \sigma_s \cdot d / L \quad (2)$$

式(2)を用いて，通常の継手構造におけるボルトの発生応力に対応する試験荷重 P を求めた結果を表-4に示す。曲げ試験結果は表-4に示す荷重における鉛直変位や目開きに特に着目し，通常の継ぎ手構造と変更案の構造の試験結果を比較することにした。

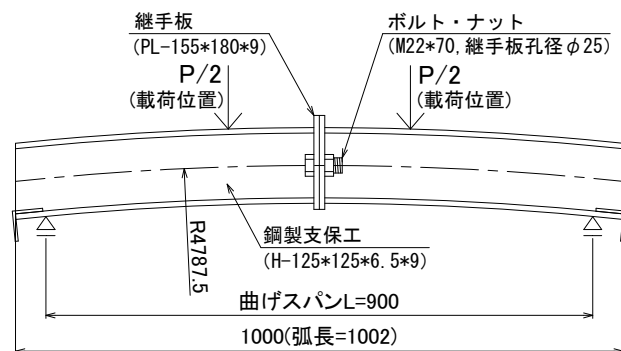


図-4 3等分曲げ試験の供試体の基本形状



写真-1 3等分曲げ試験状況

表-3 3等分曲げ試験における測定項目

測定項目	測定機器・箇所数	備考
鉛直変位	変位計 測定箇所：5点	図-5 中の変位 L2, L1, C, R1, R2 の位置で測定
継手板の目開き	コンベックス 測定箇所：2点	図-5 中の目開き(手前)と目開き(奥)の位置で測定

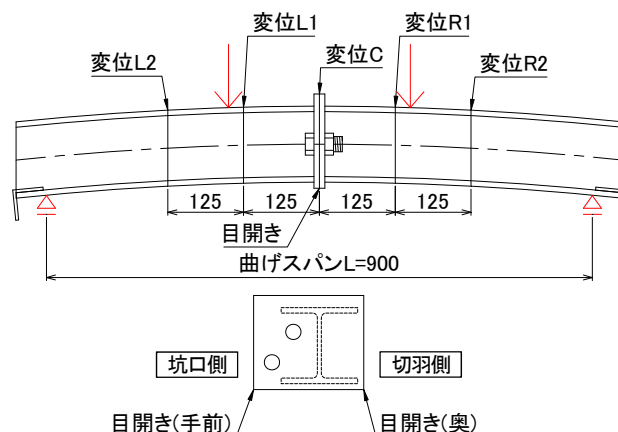


図-5 3等分曲げ試験における変位測定位置

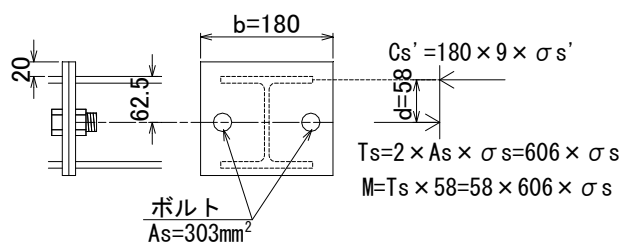


図-6 曲げ試験における天端継手板形状とボルトに作用する荷重

表-4 通常の継手構造の3等分曲げ試験の供試体におけるボルトの発生応力と試験荷重との関係

ボルトの状態	ボルトの発生応力(N/mm ²)	試験荷重 P (kN)	備考
降伏	245	57	SS400の降伏応力
最大耐力	400	94	SS400の引張強さ

(2) 2面せん断試験

a) 供試体の寸法と載荷方法、測定項目

供試体の基本形状と載荷位置を図-7に、試験状況を写真-2に示す。試験に用いたせん断試験装置は、JSCE-G553-2013 鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験に用いる治具を使用した。試験荷重 P は2箇所の載荷点に $P/2$ ずつ載荷される。

せん断試験における測定項目を表-5に示す。鉛直変位は2箇所の値を荷重と合わせてデータロガーで自動測定した。

b) ボルトの発生応力と試験荷重との関係

荷重 P に対し4本のボルトのせん断力で抵抗する試験となる。ボルトのせん断応力 τ_s と引張応力 σ_s との関係が下式であると仮定する。

$$\tau_s = \sigma_s / \sqrt{3} \quad (3)$$

このとき、試験荷重 P とボルトの発生応力との関係は以下の通りになる。

$$P = 4A_s \cdot \tau_s = 4A_s \cdot \sigma_s / \sqrt{3} \quad (4)$$

式(4)を用いて、曲げ試験と同様にボルトの発生応力に対応する試験荷重 P を求めた結果を表-6に示す。

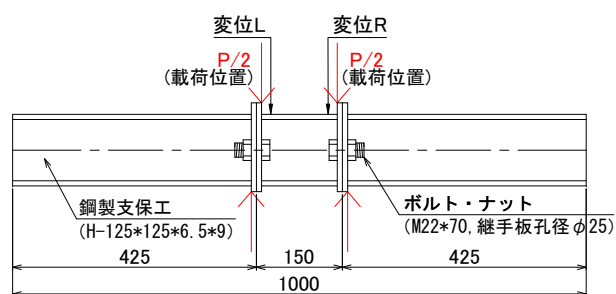


図-7 2面せん断試験の供試体の基本形状と測定位置

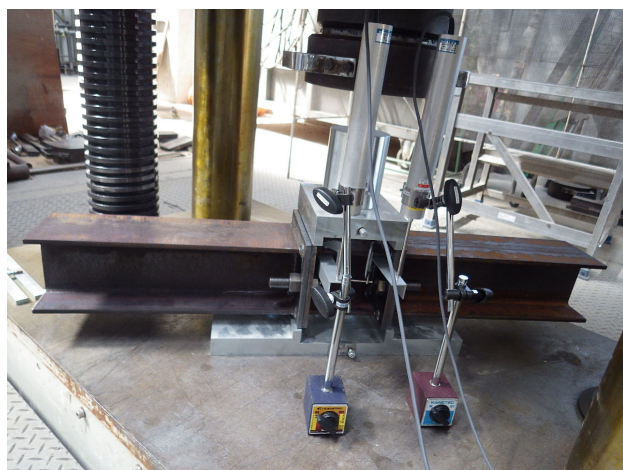


写真-2 2面せん断試験状況

5. 性能確認試験結果

(1) 3等分曲げ試験

a) 試験状況

ケース1の試験終了時の状況を写真-3に示す。荷重増加に伴い継手板はボルト接合箇所ではれ曲がり、継手板間隔が広がりながら鉛直変位が進行し、ボルト破断前に最大荷重を確認して試験を終了している。他のケースも同様であり、ボルト破断前に最大荷重を確認して試験を終了している。

片側2孔の継手板を用いたケース3、4では、切羽側の継手板間隔がより大きく広がり（写真-4）、くの字に折れ曲がる水平方向変位が生じた（写真-5）。

表-5 2面せん断試験における測定項目

測定項目	測定機器・箇所数	備考
鉛直変位	変位計 測定箇所：2点	図-7中の変位L、変位Rの位置で測定

表-6 2面せん断試験の供試体におけるボルトの発生応力と試験荷重との関係

ボルトの状態	ボルトの発生応力 (引張) (N/mm ²)	試験荷重 P (kN)	備考
降伏	245	171	SS400の降伏応力
最大耐力	400	280	SS400の引張強さ

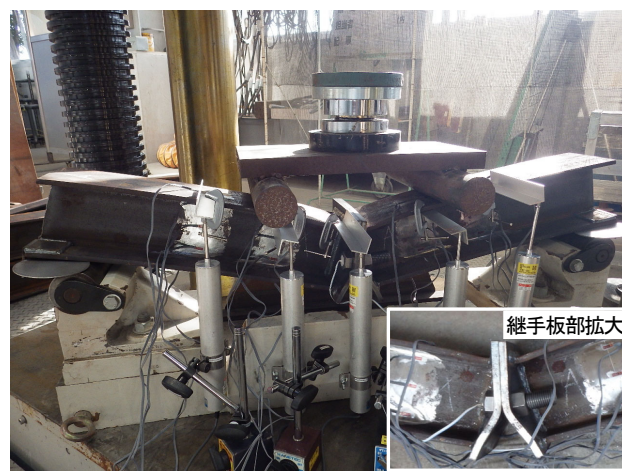


写真-3 ケース1の曲げ試験終了時の状況

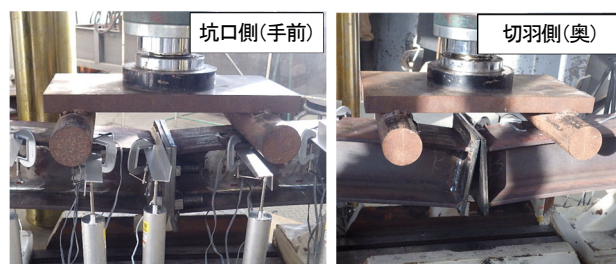


写真-4 ケース3の曲げ試験終了時の状況（継手板部）

b) 荷重-変位曲線

ケース 1～4 の荷重-変位曲線を図-8 に、結果の一覧を表-7 に示す。最大荷重はケース 3 が最小、ケース 4 が最大となった。ケース 3 の最大荷重低下は水平方向変位の影響によるものと考えられる。ケース 4 にも水平方向変位が生じているが、継手板が厚いことによる補強効果のほうが大きく、結果としてケース 4 の最大荷重が最も大きくなったと推測する。

表-7 では、表-4 で定めた着目荷重(57kN, 94kN)の時の変位 C を比較している。着目荷重は、ケース 1 においてボルトの応力が降伏(245N/mm²)、引張強さ(400N/mm²)に達する際の試験荷重の想定値である。ケース 3, 4 はボルトの配置がケース 1 とは異なるため、試験荷重とボルトの応力との関係はケース 1 とは異なるが、着目荷重時の変位 C を比較することで、曲げ抵抗性能についてケース 1 との大小関係を比較できる。ケース 2, 4 の着目荷重時の変位 C はケース 1 より小さいため、荷重-変位曲線からはケース 2, 4 の曲げ抵抗性能はケース 1 と同等であると判断できる。

c) 目開き

ケース 1～4 の荷重-目開き曲線を図-9 に、結果の一覧を表-8 に、試験終了時の目開きの状況を写真-6 に示す。

写真-6 に示すように、全ケースとも継手板はボルト接合箇所では折れ曲がり下側に目開きが生じている。ボルトには曲げ変形が生じているが破断には至っていない。ケース 3, 4 はボルトを配置していない奥側の目開きが大きくなっている。

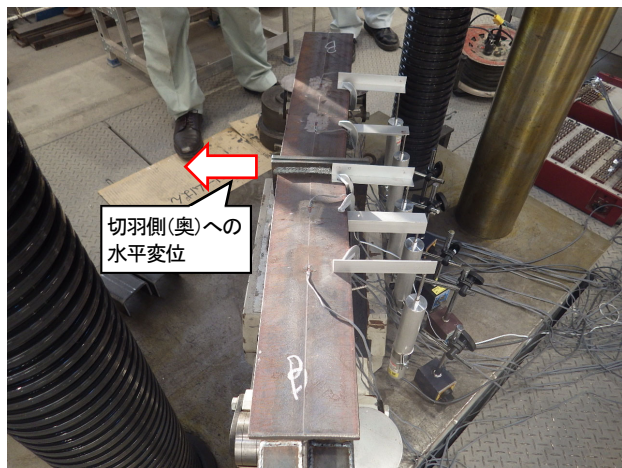


写真-5 ケース 3 の曲げ試験終了時の状況 (上から)

表-7 3等分曲げ試験結果一覧 (鉛直変位)

試験ケース	最大荷重(kN)	着目荷重時の変位 C(mm)	
		SS400降伏応力 57 kN	SS400引張強さ 94 kN
1.通常の継手	137.9	12.1	53.1
2.ワンタッチ式	120.0	10.8	42.1
3.片側2孔 t=9mm	87.1	22.1	—
4.片側2孔 t=16mm	148.9	9.9	20.1

図-9 に示すように、ケース 1, 2 の目開きは手前側と奥側に差は見られない。これに対しケース 3, 4 の奥側の目開きの最終値は、手前側の2倍以上の値となっており、ボルト配置を片側に寄せたことの影響が大きく現れている。この手前側と奥側の目開きの差が写真-5 に示す水平方向変位につながっている。

表-8 では、荷重-変位曲線の評価と同様に表-4 で定めた着目荷重(57kN, 94kN)の時の目開きを比較している。着目荷重時の目開きを比較することで、曲げ抵抗性能についてケース 1 との大小関係を比較できる。ケース 2 の着目荷重時の目開きはケース 1 より小さい。ケース 4 については、57kN 時の奥側の目開きはケース 1 よりやや大きい値となったが、その他の目開きはケース 1 より小さい値である。目開きの結果からは、ケース 2, 4 の曲げ抵抗性能はケース 1 と同等であると判断できる。

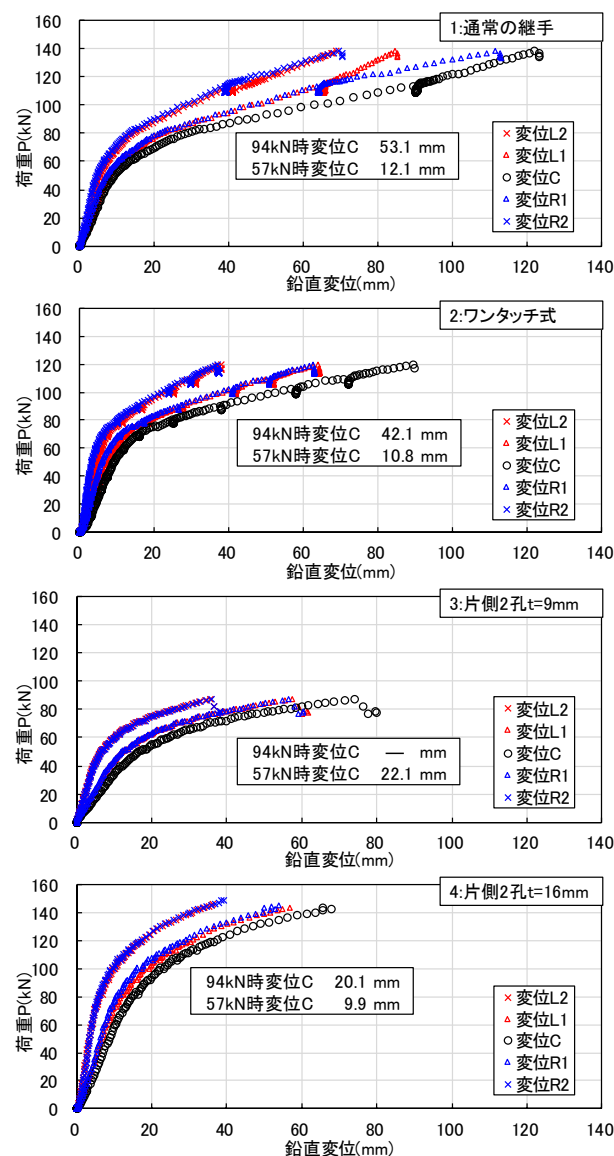


図-8 3等分曲げ試験における荷重-変位曲線

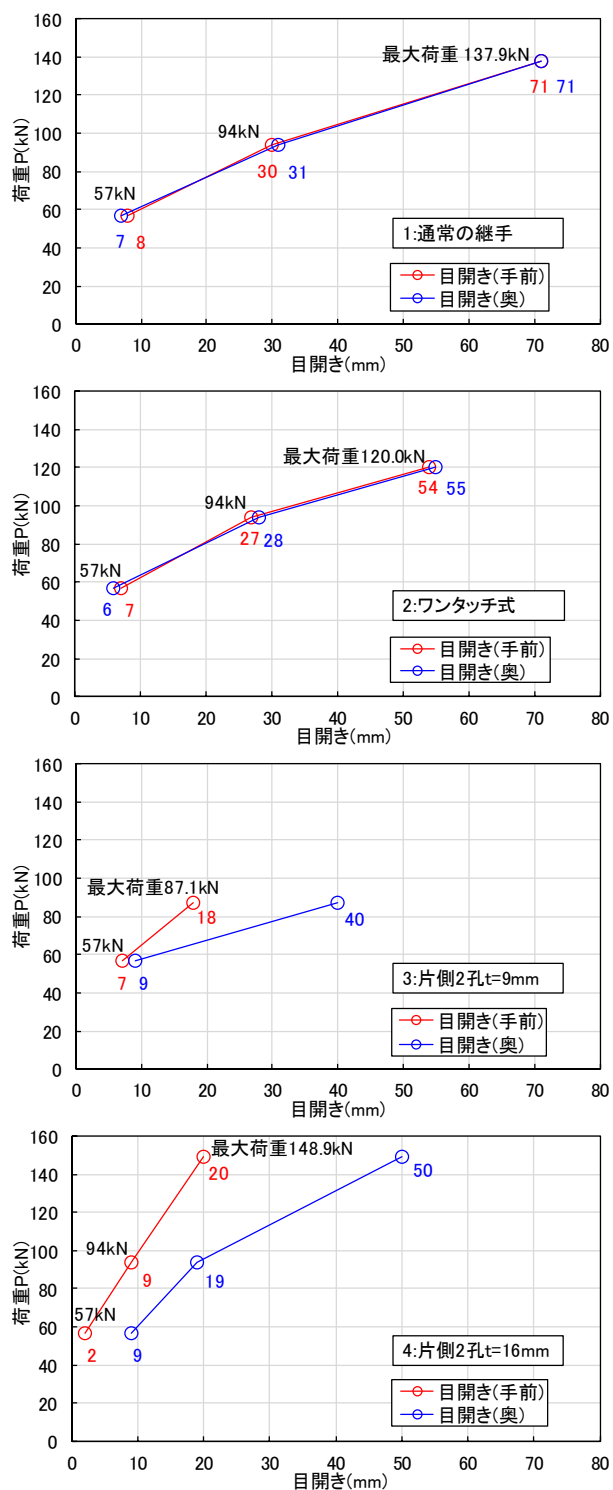


図-9 3等分曲げ試験における荷重-目開き曲線

表-8 3等分曲げ試験結果一覧 (目開き)

試験ケース	着目荷重時の目開き(mm)					
	SS400降伏応力 57kN		SS400引張強さ 94kN		最大荷重	
	手前	奥	手前	奥	手前	奥
1.通常の継手	8	7	30	31	71	71
2.ワンタッチ式	7	6	27	28	54	55
3.片側2孔 t=9mm	7	9	—	—	18	40
4.片側2孔 t=16mm	2	9	9	19	20	50

※ケース3,4は坑口側 (ボルト配置側) が手前

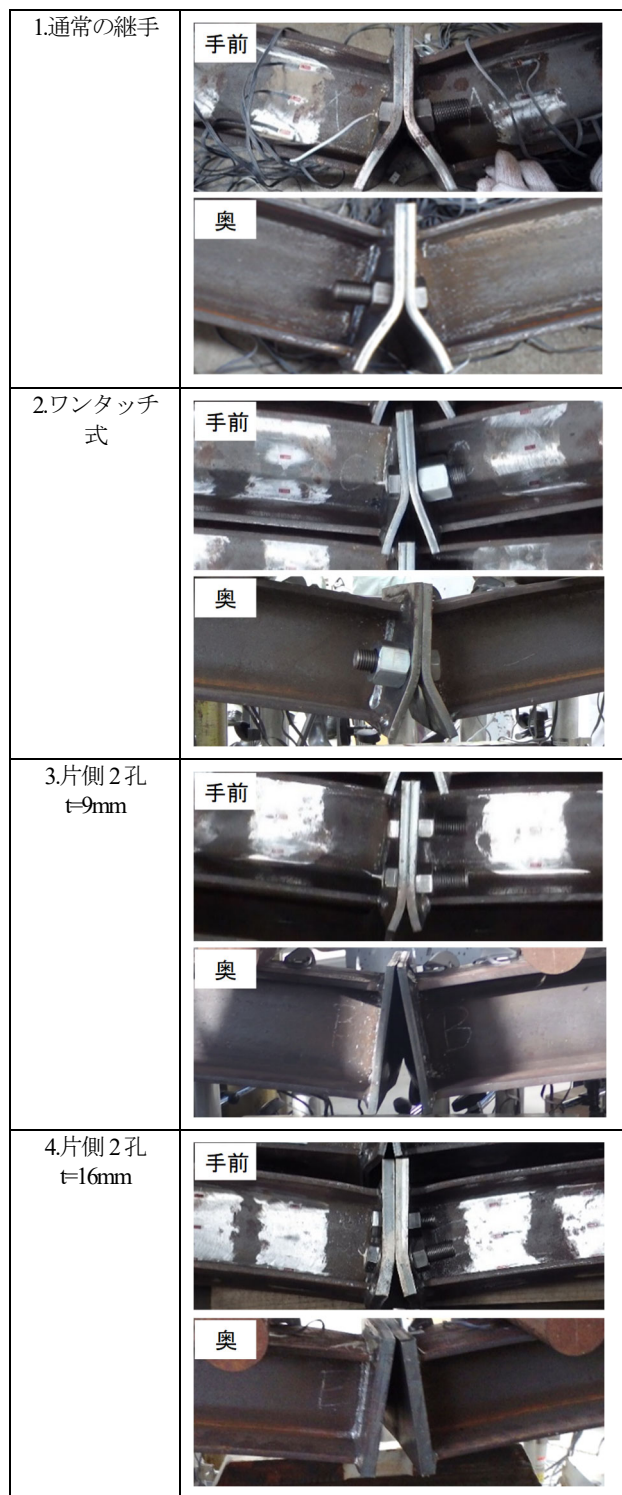


写真-6 目開きの状況

(2) 2面せん断試験

a) 試験状況

全ケースとも、4本のボルトのうちの1本または2本の破断を確認して試験を終了している。ケース3における試験直後の状況を写真-7に、破断しなかったボルトの状況を写真-8に示す。破断しなかったボルトもせん断による変形が生じている。継手板には変形や損傷は見られなかった。

b) 荷重-変位曲線

ケース1～4の荷重-変位曲線を図-10に示す。変位L、変位Rは2箇所の載荷点近傍の鉛直変位を示している。

片側2孔のケース3,4は、ケース1,2と比べると荷重の立ち上がりまでの変位が小さく、最大荷重付近に到達するまでの勾配が急であり最終変位量が小さくなる傾向を示している。この変位傾向の違いはボルトの配置に起因しており、片側2孔のケース3,4のほうが、変位量が小さい段階からボルトに荷重が伝達されたものと推測する。

最大荷重は全ケースとも表-6で推定したボルトの最大耐力時の試験荷重より大きい値となった。継手板間の摩擦などにより最大荷重が増加した可能性がある。

ケース1の最大荷重449.1kNに対し、ケース2～4は417.6kN～463.5kNの範囲にある。ケース2の最大荷重が最も小さいが、ケース1と2の試験条件の違いが使用ナットだけであることを考慮すると、ケース1,2の最大荷重の差は試験のばらつきの範囲にあると考えられる。

2面せん断試験結果より、ケース2～4のせん断抵抗性能はケース1より低いとは判断できない。

(3) 性能試験結果のまとめ

3等分曲げ試験および2面せん断試験の結果から、以下の事項が明らかとなった。

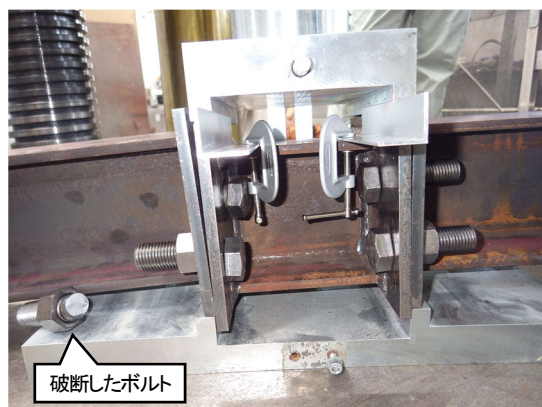


写真-7 2面せん断試験後の状況（ケース3）



写真-8 2面せん断試験後のボルトの状況

- 1) ワンタッチ式ナットを用いたケース2は、3等分曲げ試験における鉛直変位と目開きがケース1より小さい値となった。ワンタッチ式のナット使用時の継手部の曲げ抵抗性能は、従来の継手部と同等である。
- 2) ボルト接合位置を片側2箇所にしたケース3は、3等分曲げ試験における鉛直変位と目開きがケース1より大きくなり、従来の継手部と同等の曲げ抵抗性能は得られない。この性能低下は部材中心に対しボルト配置が非対称であることの影響と思われる。
- 3) ボルト接合位置を片側2箇所とし継手板厚を16mmとしたケース4は、3等分曲げ試験における鉛直変位と目開きがケース1より小さい値となった。継手板の厚さを増加させることで、ボルト配置を非対称とした際の曲げ抵抗性能の低下を改善できる可能性がある。
- 4) 2面せん断試験からは、ケース2～4のせん断抵抗性能がケース1より低いとは判断できない。

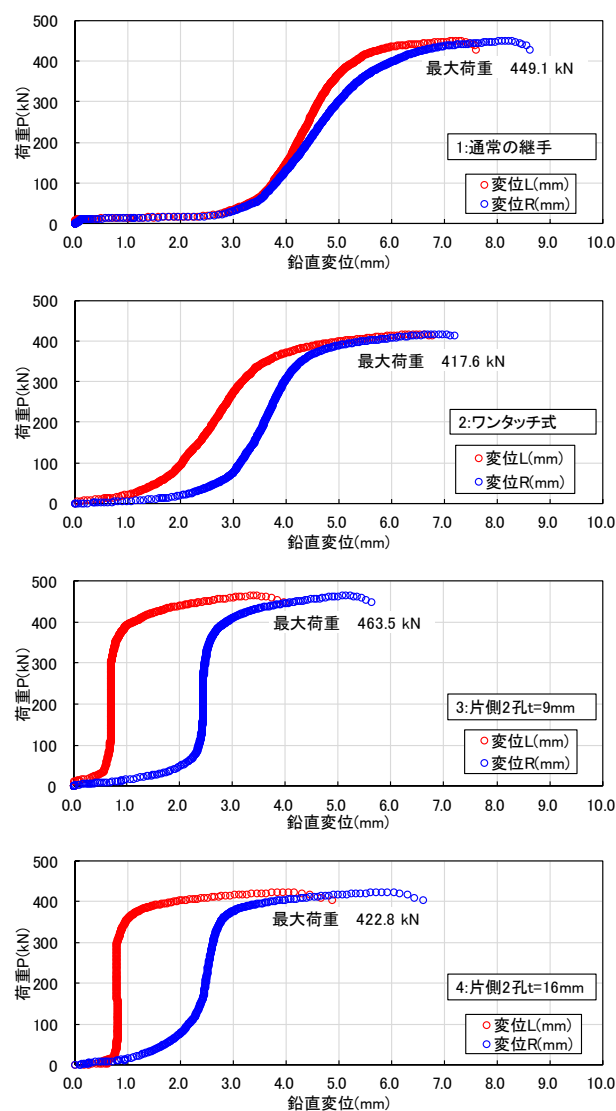


図-10 2面せん断試験における荷重-変位曲線

6. 結論

切羽直下における鋼製支保工天端継手部のボルト接合時の作業時間を短縮し、安全性を向上させることを目的として、従来の天端継手部とは異なる構造の継手部を考案し、曲げ耐力などの性能を室内試験により確認した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) ワンタッチ式のナット使用時の継手部の曲げ抵抗性能は、従来の継手部と同等である。
- 2) 継手部のボルト接合位置を片側2箇所にした場合、通常の継手と同等の曲げ抵抗性能は得られない。部材中心に対しボルト配置が非対称であることの影響と思われるが、この性能低下は継手板の厚さを増加させることで改善できる可能性がある。

なお、今回は H-125 の鋼製支保工による試験を行い、3 等分曲げ試験ではボルトの強度ではなく継手板の厚さの影響が大きく現れる結果となった。鋼製支保工が H-150 や H-200 の場合には母材や継手板の厚さが変わるため、曲げ抵抗性能は、今回の試験結果とは異なる傾向になる可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説，p.97，2016.

(2019. 8. 9 受付)

A STUDY ON THE CROWN JOINT OF STEEL SUPPORT FOR IMPROVEMENT OF WORKING EFFICIENCY

Hyuga TETSURO, Shogo INADA, Naoya NISHIHARA, Naoki TSUCHINAGA and Nobuharu ISAGO

As indicated in the “Guidelines for prevention of fall of loosen-rock accidents at the face of mountain tunnel construction” notified by the Ministry of Health, Labor and Welfare in 2016, serious disasters caused by fall of loosen-rock were constantly occurring during work directly under the face. Therefore, it is desirable to reduce the high-risk work.

When erecting steel supports, it is necessary to work directly under the face when joining the crown joint. In order to shorten the bolt joint time of the crown joint of steel supports, a joint part with a structure different from the conventional joint part was devised. Its load resistance performance was confirmed by laboratory tests. As a result, it was clarified that the newly designed joint has the same bending resistance as the conventional one.