

外殻先行構築型トンネルにおける JAWS 継手の引張疲労性能

戸田建設 正会員○田中 孝, 正会員 田中 宏典

1. はじめに

過密化した都市部において、路面交通の渋滞、流通機能の低下や環境の悪化を解消する対策として、アンダーパスによる立体交差化や道路や鉄道などの都市交通の地下化などが進められている。一方、地下空間や都市トンネルの多様化により、地下構造物の大深度化、大型化、長距離化、また、地中における接合や分岐合流など、より高度な構築技術が求められている。その中で外殻先行型のトンネル構築技術である「さくさく JAWS 工法」(以下、JAWS 工法と呼ぶ。)は、1つ1つの施工断面が小さく、地盤変状や周辺環境への影響を抑制できるため都市部での地下空間構築に適している施工法と言える。本稿では適用範囲の拡大を目的に JAWS 工法で用いる継手(JAWS 継手)を対象に実施した引張疲労試験の結果とその評価について述べる。

2. JAWS 工法および継手の概要

JAWS 工法はトンネル外殻部を先行して形成して内部掘削を行うことで大断面や任意の断面のトンネルの構築が可能となる。鋼製の角形エレメントには JAWS 継手が配置されており、推進工法によって隣接するエレメントと連結しながらトンネル外殻部を先行して形成していく。JAWS 継手は凹継手と凸継手で構成されており、継手嵌合後に拘束ボルトを締結後、継手内にモルタルを充填する。拘束ボルトは継手部に引張力が作用した際の継手の目開きに伴う継手耐力の低下を防止する。継手内に充填するモルタルによって、地下水位の浸入を防ぐと共に継手部に作用する力の伝達を可能にする。角形エレメント内にコンクリートを打設後、角形エレメントフランジ部と継手は引張部材として本体利用することになる。JAWS 継手は静的な荷重においては、材質 SS400 で厚さ 16mm の鋼板の降伏荷重相当の強度性能を有しているが、引張疲労性能については明らかではなかった。

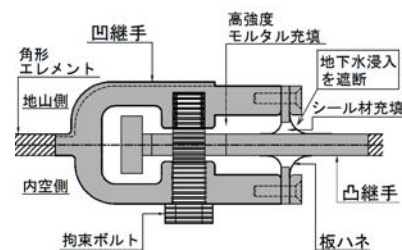


図-1 JAWS 継手概要図

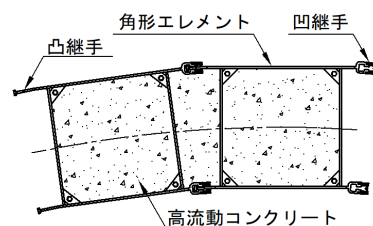


図-2 角形エレメント図

3. 継手引張疲労試験概要

(1) 継手試験体概要

JAWS 継手に締結する拘束ボルトは、継手単体引張試験結果を踏まえて、M24 として 287mm ピッチで配置している。一方、疲労試験機に適用できる試験体の幅は最大 150mm である。そのため、継手長さ当たりのボルト断面が同一になるように拘束ボルトを M16 に縮径して、試験体幅を設定した(図-3 参照)。継手試験体は凹継手と凸継手を軸線に合わせて嵌合させ、モルタルを充填して作製した。疲労試験時のモルタル強度確認用の供試体も併せて作製した。また、JAWS 継手は溶接にて角形エレメントに取り付けるため、試験体に設けた溶接部の疲労性能も確認できるようにした。溶接部は事前に非破壊試験を実施して健全性を確認した。凹継手の材質は SCW480、凸継手および鋼板は SM490Y、モルタルの基準強度は 80N/mm² 以上(材齢 28 日)である。

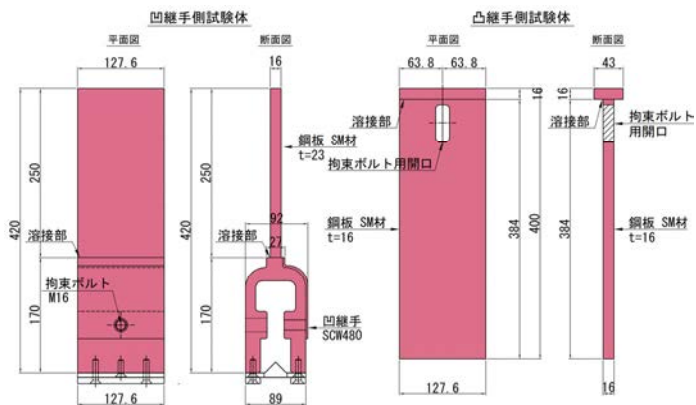


図-3 疲労試験継手試験体図

キーワード 外殻先行型, 地下空間, 角形エレメント, 継手, 本体利用, 疲労試験

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-9-1 戸田建設(株) 技術開発統括部 技術研究所 TEL 03-3535-2641

(2) 疲労試験方法

疲労試験は、1,000kN 拘束疲労試験機を用いて行った（図-4 参照）。負荷方法は完全片振り引張疲労試験で、200 万回を疲労限界として試験体が破損するまで繰り返し荷重を与えた。疲労試験の条件を表-1 に示す。試験では応力振幅による疲労破壊時の繰り返し数を確認し、疲労性能回帰直線を求める。その他に、試験体の凹継手と凸継手のひずみデータの取得や載荷に伴う変位の計測を行う。

表-1 疲労試験条件表

項目	条件
試験機	1,000kN高速疲労試験機
制御信号	荷重
波形	サイン波
試験速度	2.5 Hz
最大繰り返し数	200万回



図-4 疲労試験機

4. 継手引張疲労試験結果

継手引張疲労試験は予備試験で確認した静的載荷での荷重・変位関係と凸継手鋼板部の許容応力度踏まえて応力振幅を設定した。疲労性能回帰直線を設定する上で、試験体が破損する繰り返し数をおよそ 10,000 回、100,000 回、1,000,000 回および 2,000,000 回になるように応力振幅を変化させた。疲労試験は、拘束ボルトを M16 として 9 ケース、M20 として 3 ケースを実施した。

(1) 試験結果概要

継手引張疲労試験の結果を表-2 に示す。拘束ボルトを M16 としたケースの応力振幅は 50～180N/mm² とした。応力振幅が 75N/mm² 以下であれば繰り返し数は 2,000,000 回を上回り、100N/mm² の応力振幅で 100,000 回以上、180N/mm² では 16,000 回となった。2,000,000 回に達しなかった試験体の破壊形態は全て、拘束ボルトの破断であった（図-5 参照）。この結果を踏まえて、拘束ボルトの仕様を M20 に上げ、追加試験を実施した。応力振幅 100N/mm² で繰り返し数 780,000 回以上、150N/mm² で 53,000 回であった。

これらの結果を整理して求めた疲労性能回帰直線を図-6 に示す。M16 の場合の試験結果に基づく回帰直線が中央線、最下段が M16 の場合の試験結果を包括するオフセット線、最上段が M20 の場合の回帰直線、その下が M20 の場合のオフセット線となる。オフセット線に基づく繰り返し数 2,000,000 回時の応力振幅は M16 の場合に 63N/mm²、M20 の場合に 88N/mm² になる。

(2) 試験結果の評価

継手引張疲労試験の破損形態は M20 の場合の 1 ケースを除き拘束ボルトの破断であり、JAWS 継手の疲労性能は拘束ボルトの疲労耐力が支配的であった。凹継手と凸継手に存在する完全溶け込みによる溶接部は、拘束ボルトに比べ疲労性能が高いことが明らかになった。なお、M16 の場合のオフセット線による 2,000,000 回の応力振幅は、材質 SS400 の鋼板の降伏応力度 245N/mm² の約 1/4 であるが、今後実施の条件に応じて、拘束ボルトの仕様や配置ピッチの変更などで疲労性能の向上を図ることで対応が可能であると考えられる。

5. おわりに

JAWS 工法は外殻先行型の非開削トンネル構築工法であり、都市部における地下空間の利活用に寄与できる工法である。今回の JAWS 継手の疲労性能を確認したことで、繰り返し荷重が作用する場所においても適用性が広がり、道路や鉄道などの立体交差や地下通路などの構築に対して適用機会が増加すると期待される。今後、JAWS 工法を通じて新たな都市空間の構築に貢献していきたい。

表-2 疲労試験結果一覧表

試験 No.	応力振幅 (N/mm ²)	荷重 (kN)	繰返し数 (回)	拘束ボルト	破断状況
1	180	367	16,527	M16	ボルト
2	100	204	103,753	M16	ボルト
3	50	102	2,000,000	M16	—
4	70	143	2,000,000	M16	—
5	80	163	393,273	M16	ボルト
6	100	204	257,161	M16	ボルト
7	75	153	2,000,000	M16	—
8	90	184	2,000,000	M16	—
9	100	204	157,939	M16	ボルト
10	150	306	53,389	M20	ボルト
11	100	204	1,240,623	M20	凸継手
12	100	204	781,295	M20	ボルト



図-5 拘束ボルト破断状況

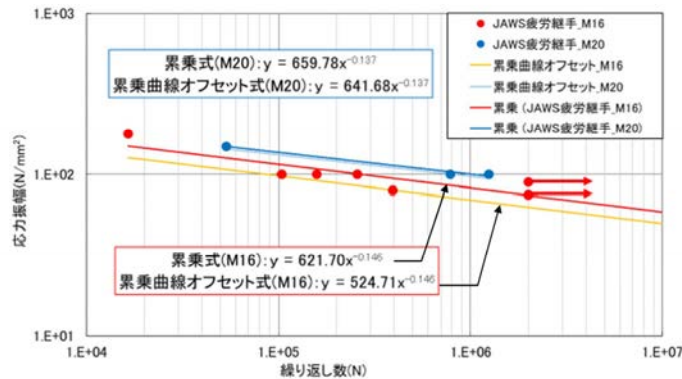


図-6 疲労性能回帰直線図