

軸方向挿入型直線くさび継手の曲げ性能 および止水性能について

FLEXURAL AND SEAL PROPERTIES OF LONGITUDINAL INSERTING COTTER JOINT

市野道明¹⁾・倉木修二¹⁾・木村定雄¹⁾・田上弘喜²⁾・中島秀夫³⁾

Michiaki ICHINO, Syuji KURAKI, Sadao KIMURA, Hiroki TAGAMI, Hideo NAKAJIMA

The experimental results which confirm the structural performance of the cotter joint is described in this paper. The cotter joint(longitudinal inserting cotter joint) is a kind of the joining method which inserts the H-shaped member(cast iron) from a tunnel axial direction into the C-shaped members already installed at two adjacent joining faces. Two kinds of tests have been done. The first is the flexural test in case of the joint surface with the seal for resisting leakage, and it has been performed to find the effect of flexural rigidity of the joint in terms of the existence of the seal. The second is the shutting test to confirm the mechanism of its property of the seal by means of the joining of the cotter.

In the first test, the reducing tendency of flexural rigidity of the joint in case with the seal was observed by comparing to the case without the seal. The mechanism of the shutting of the seal, i.e. the force of shutting by means of the joining of the cotter, the process of shutting, stress relaxation of the seal, have been cleared.

Key Words: Shield tunnel, Joint of segment, Flexural rigidity, Seal design

1. はじめに

従来、コンクリート平板形セグメントに多用されてきた直ボルト式の締結装置は、人力により締付け作業を行うことが多く、その締付け力を高めることが困難であった。また、ボルトの初期締結力による継手面の締付け効果は小さく、実験によりこの効果を定量的に把握することは困難であったようである¹⁾。

そこで筆者らは、簡易な機械で、相隣り合う二つの継手面内に埋設したC形金物中に、H形金物を挿入することのみで、継手面に高い締付け力を与えることができる軸方向挿入型直線くさび継手(以下、水平コッター継手と称す)に着目し、その基本的な構造性能を把握するための基礎実験を行ってきた²⁾。これによると、継手面に高い締付け力を付与できる水平コッター継手は、一般の継手に比べて継手の曲げ剛性が大きい(見かけ上の回転ばね定数が大きい)ことがわかった。さらに、今回は止水を目的としたシール材を有す場合の継手の曲げ性能を把握すること、およびシール材の封入のメカニズムを把握することを目的とした実験を行った。本報告はこれらの実験結果について述べたものである。

1) 正会員 佐藤工業(株) 土木総本部 土木本部 技術部

2) 正会員 佐藤工業(株) 土木総本部 土木本部 設計部

3) 正会員 佐藤工業(株) 中央技術研究所

2. 水平コッター継手の特徴

水平コッター継手の概要を写真1および図1に示す。この継手は相隣り合う二つの継手面内に埋設されたC形金物とその間に挿入するH形金物からなる。これら金物の材質はダクタイルであり、継手面に高い締付け力を付与することからH形金物は強度区分の高いものとした(表1参照)。

水平コッターの締結は、簡易な挿入装置(ジャッキと挿入用ロッド等からなる)を用いて、C形金物中にH形金物を切羽側から坑口側に向かってトンネルの軸方向に挿入することによりなされるため、継手の締結作業が容易なものである(写真2参照)。

さらに、水平コッター継手は簡易な挿入装置でH形金物を挿入できるため、人力によらず、継手面に高い初期締結力(H形金物の耐力の75%~85%のプレストレス)を与えることができ、高力ボルトの引張接合設計指針(案)³⁾に準じた設計を可能にする継手である。このことは、継手としての大きな特徴であり、継手面の目開きの抑制やシール材の締付け効果の向上に対しても有効であると考えられる。

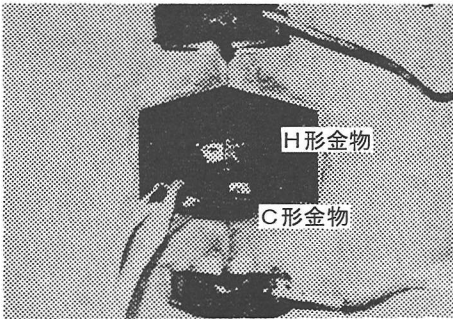


写真1 水平コッター継手の概要

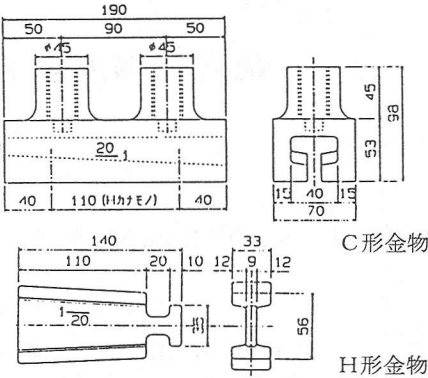


図1 継手金物

表1 継手金物の諸元 (kgf/cm²)

種 別	材 質	許容引張応力度	耐 力	引張強度
C 形 金 物	FCD500	1900	3300	5100
H 形 金 物	FCD900A	3500*1	6100	9200

*1: 耐力に対する安全率を1.7として求めた値

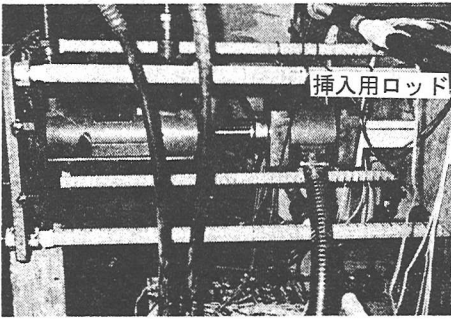


写真2 H形金物の挿入状況

3. 水平コッター継手の曲げ実験

3.1 実験の概要

継手曲げ実験の概要を図2に示す。継手面は全面で突き合わさる構造(全面突合せ式)であり、締結装置に水平コッターを用いた継手構造である。H形金物による初期締結力は、その耐力の75%(0.75×6100)のひずみに換算すると

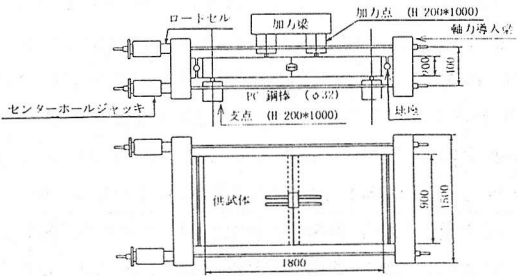


図2 継手曲げ実験の概要

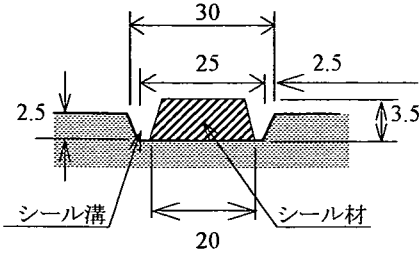


図3 シール材およびシール溝の形状寸法

2680 μ)とした。実験はPC鋼棒により40tfの軸力を導入してから、曲げ载荷したものである。表2は計測項目を示したものである。実験に使用した水膨張性シール材は硬度45のものとした。シール材およびシール溝の形状寸法は図3に示すとおりである。

3.2 実験結果およびその考察

曲げモーメントと継手開口角の関係を図4に示す。図中の継手開口角は継手面の目開き量から求めたものである。部材回転角は供試体の本体部を剛体とみなし、支点の部材回転角(継手面位置におけるたわみ量より算出)から求めた継手開口角であり、また補正後は、供試体の本体部の弾性変形量(計算から求めた変形量)を差し引いて求めた継手開口角である。このようにして求めた三つの継手開口角はほぼ同じ値であることがわかる。

今回実施した継手曲げ実験は、シール材を有する場合の実験であるが、前報²⁾の実験で得られた結果(シール材が無い場合の実験結果)も加えて曲げモーメントと継手開口角の関係をまとめたものが図5である。シール材を有する場合の曲げに伴う継手開口角は、シール材が無い場合のそれに比べて大きくなる。またこのことは、低荷重状態において顕著である。他方、今回の供試体と同じ厚さ200mmのセグメントに鋼板継手やタイドアーチ継手を用いた場合のセグメント継手の回転ばね定数は、一般に100~710 tf・m/radである⁴⁾ことを合わせ考えると、水平コッター継手は継手に高い曲げ剛性を付与することができるものと考えられる。

図6は荷重段階ごとの見かけ上の回転ばね定数を荷重偏心量と関連づけて示したものである。この結果からも、シール材を有する場合は、それが無い場合に比べて見かけ上の回転ばね定数が小さいことがわかる。

表2 継手曲げ実験の計測項目

計測項目	計測機器	数量
鉛直荷重	ロードセル	1
水平荷重		4
継手面部鉛直変位	高感度変位計	6
支点部鉛直変位		4
加力点部鉛直変位		6
H形金物ウェブのひずみ	ひずみゲージ	6
目開き量	クリップ型変位計	8

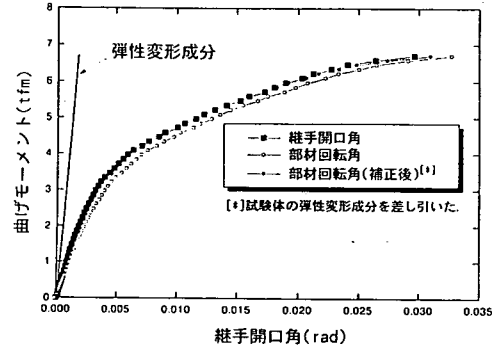


図4 曲げモーメントと継手開口角の関係

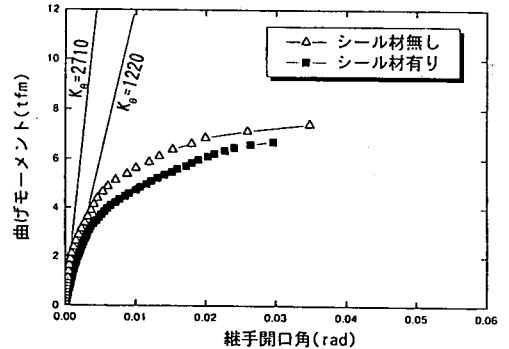


図5 曲げモーメントと継手開口角の関係

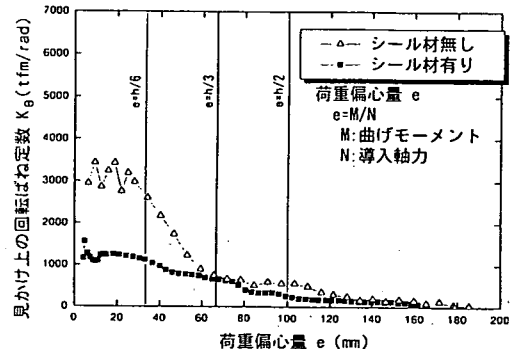


図6 荷重偏心量と見かけ上の回転ばね定数の関係

4. 水平コッターによるシール材の封入実験

4.1 実験の概要

水平コッターによるシール材の封入実験は、シール材を設置した供試体を可動式台座上に静置し、挿入用ロッドを介してジャッキによりH形金物をC形金物中に挿入してシール材を封入させるものである。写真3はその状況を示したものである。表3は計測項目を示したものであり、各種計器の設置位置は図7に示したとおりである。H形金物の挿入による継手面の締め付け力はH形金物ウェブのひずみで管理し、その値が耐力の75%(ウェブのひずみに換算すると2680 μ)を目標として締め付けた。

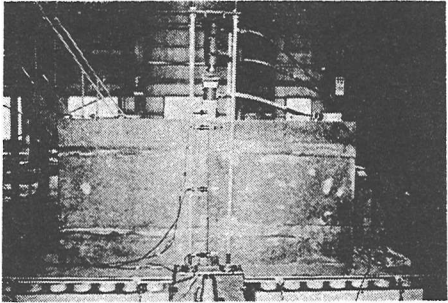


写真3 シール材の封入実験の概要

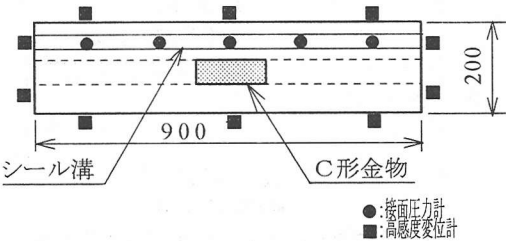


図7 計器の設置位置

表3 シール材封入実験の計測項目

計測項目	計測機器	数量
H形金物の挿入力	ロードセル	1
シール材の接面応力	接面圧力計	5
H形金物ウェブのひずみ	ひずみゲージ	6
目開き量	高感度変位計	10

4.2 実験結果およびその考察

シール材の封入のメカニズムは、(1)シール材の封入力(2)シール材の封入過程、(3)シール材の応力緩和に分けて検討する。

(1) シール材の封入力

H形金物の締め付け力とシール材の平均接面応力および伝達比との関係を図8に示す。伝達比は次式から求めた値であり、締め付け力とシール面に生じる圧縮力との比を表わしたものである。

$$R = p \cdot A / N$$

ここで、Rは伝達比、pは平均接面応力(kgf/cm²)、Aはシール材の面積(cm²)、NはH形金物のウェブのひずみから算出した締め付け力(kgf)である。

締め付け力と平均接面応力の関係を見ると、締め付け力が5tf程度から平均接面応力は増加していない。また締め付け

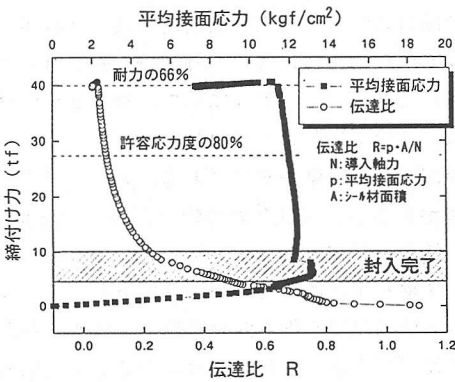


図8 シール材の封入力

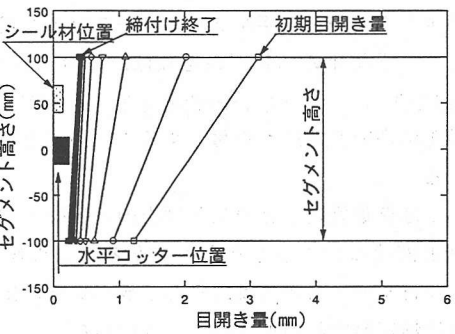


図9 シール材の封入過程(厚さ方向)

力と伝達比の関係をみると、締付け力が10tf程度から伝達比が微小な値となっている。これらのことから、5tf～10tfの締付け力でシール材の封入は概ね完了することがわかる。さらに、この時の締付け力はH形金物の耐力(6100kgf/cm²)の8～16%であり、水平コッター継手の引張性能からすると相当に小さい。

(2) シール材の封入過程

図9および図10はシール材の封入過程を示したものである。図9はセグメント厚さ方向、また図10はセグメント幅方向の封入過程を示している。これらの結果から、水平コッターによるシール材の封入は、継手面がほぼ平行に突き合わさりながら進行することがわかる。また水平コッターによる締付け位置が継手面の中央(セグメント幅方向)にあることを合わせ考えると、水平コッターは締付け位置に関係なくほぼ均一にシール材に接面応力を付与できることがわかる。なお、セグメント幅方向に若干生じている接面応力の差は、シール溝や継手面の微小な凹凸による影響と考えられる。

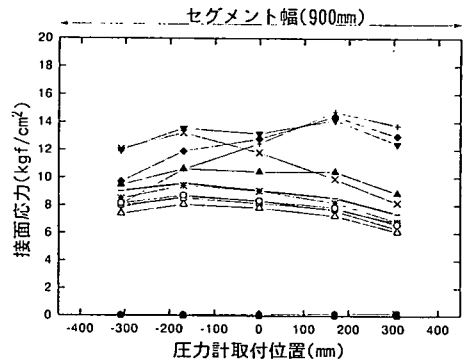


図10 シール材の封入過程(幅方向)

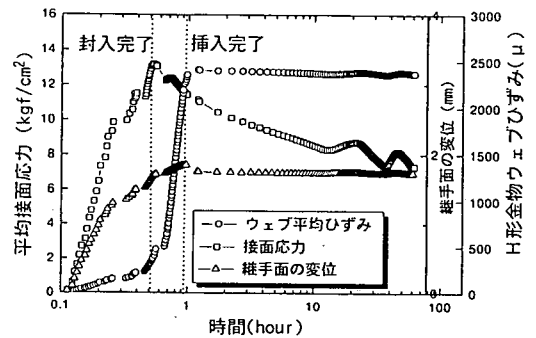


図11 シール材の応力緩和

(3) シール材の応力緩和

図11はシール材の接面応力およびH形金物のウェブのひずみの経時変化を示したものである。H形金物の挿入が完了した直後において接面応力は顕著に低下していない。しかし、その後時間の経過とともに接面応力は徐々に低下し、初期の接面応力の70%程度まで下がった。この間、目開き量には変化が見られず、さらにH形金物ウェブのひずみも変化していないことから、経時的な接面応力の低下はシール材の応力緩和によるものと推察される。また時間の経過とともに接面応力が波を打つように変化しているのは、昼夜の温度変化に起因するものと考えられる。なお、図11はH形金物の耐力の66%で締め付けた結果を示したものであるが、耐力の75%まで締め付けた実験も実施しており、これと同様の結果を得ている。

5. まとめ

水平コッター継手の曲げ実験および水平コッターによるシール材の封入実験から得られた知見を挙げると以下のとおりである。

- (1) 継手面にシール材を挟むことにより、継手の曲げ剛性は低下する。またこの低下する傾向は曲げモーメントが小さい段階で顕著に現れる。
- (2) 水平コッターによる継手の高い締付け効果により、シール材はシール溝に十分に封入することができるとともに、継手面に余剰のプレストレスを与えることができる。

6. おわりに

今回実施した水平コッター継手の曲げ実験および水平コッターによるシール材の封入実験により、水平コッター継手の高い締付け効果が確認できたと考えている。

一方、水平コッター継手はその構造上、ボルト継手のようにシールド掘進の影響を受けた後の増し締めを施すことができない。これに対しては前述したように、H形金物の初期締結力を高く(継手金物の耐力の85%程度)することにより対処したいと考えている。

なお、今後は、水平コッター継手を有するセグメントの施工性等についても検討を加えて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) たとえば、小山，松本，稲垣：シールドセグメント継手実験と継手ばね定数の検討，トンネル工学研究論文・報告集，Vol. 4, 1994. 11.
- 2) 岩藤，市野，吉成，木村，原園：内面平滑セグメントの構造性能，トンネル工学研究論文・報告集，Vol. 6, 1996. 11.
- 3) 日本鋼構造協会：橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案)，1993. 2.
- 4) 土木学会：セグメントの設計，トンネルライブラリー第6号，1994. 6.