

沈埋トンネルの新型継手構造の設計手法について

国土交通省近畿地方整備局

岡本 有 司

早稲田大学

フェロー会員 清 宮 理

独立行政法人港湾空港技術研究所

フェロー会員 横 田 弘

○国土交通省近畿地方整備局

正会員 宮 田 正 史

1. はじめに

軟弱地盤上に沈埋トンネルを建設する場合、地震作用や地盤の不同沈下により沈埋函に過大な断面力が発生しないよう、沈埋トンネルの変位を吸収するための継手（可撓性継手）を設置することが多い。大阪港夢洲トンネルの建設地点は、大阪港沖合の航路部および軟弱な粘土が厚く堆積した地盤上の埋立地であり、特に護岸部付近では埋立完了直後の不同沈下および埋立地の沈下に伴う水平変位の影響が懸念されている。このため、従来の継手よりも大きな継手変位に追従可能な継手構造が求められた。クラウンシール式継手は、このような背景のもと沈埋トンネル用の大変形追従型継手構造として新たに開発されたものである。この継手については、既に二次元模型および三次元模型を用いた実験により、必要な変形性能および止水性能を満たすことを確認している¹⁾。この継手の採用にあたって、継手を構成する各部材の目標性能および設計手法について新たに検討を実施した。本稿は、その結果について報告するものである。

2. クラウンシール式継手構造の概要

図-1にクラウンシール式継手の全体構造を示す。本継手構造は、継手端部間に遊間（取付けビーム間のトンネル軸方向の間隔）を設けることでトンネル軸方向の変位に対応し、その外部に取付けたクラウンシールゴムで止水性を確保するものである。継手遊間を設けているため、本継手はトンネル軸方向変位に対しては基本的に自由に変位する。継手の過度の目開きを防ぐためにストッパーケーブルが設置される。このケーブルは、地震時の軸方向変位が沈下と温度変化に対する許容値を超えた時に初めてその機能を発揮するように設計される。継手部におけるせん断変位（トンネル軸直角方向変位）については、クラウンシールゴムは自由に追従するため、継手部に設置されるせん断キーによって変位を制限する。以上に示したとおり、本継手は、沈下と温度変化に対しては断面力をほとんど発生せずにトンネルの変位に追従できる構造である。また、本継手の止水性はクラウンシールゴムの取付け部（締着部）により保持されることを基本とするが、外水圧によりクラウンシールゴムのノーズ部が取付けビームに圧着されることによる止水機能（セルフシール機能）も期待できることから、本継手は二重の止水機能を有する信頼性の高い構造である。クラウンシールゴムの概要を図-2に示す。

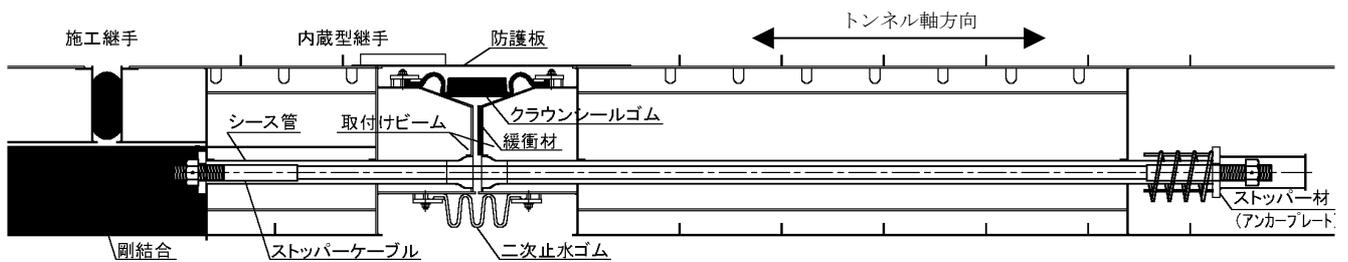


図-1 クラウンシール継手の構造

本継手の採用に先立ち実施した性能確認実験の結果、水圧を 0.1~0.3MPa まで負荷した状態で、軸方向変位（遊間）：0~300mm、せん断変位：0~150mm を与えても、クラウンシールゴム取付け部からの漏水は認められなかった。また、軸方向変位が 250mm まではノーズ部のセルフシール機能が保持されていることが確認された。

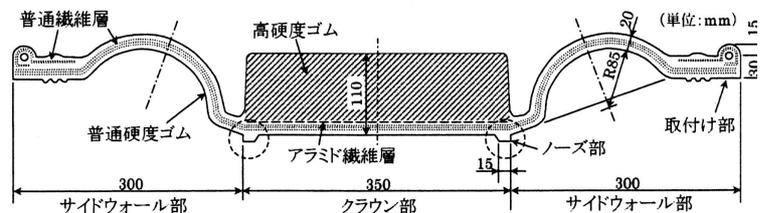


図-2 クラウンシールゴムの概要

3. クラウンシール式継手構造の設計手法

クラウンシール式継手の配置箇所は、沈下や地震による継手の変位特性（圧縮・引張）を考慮して、トンネル全体の継手間のうち一カ所に変形が集中しないように移動制限材と組み合わせて設定する。また、従来型の可とう性

キーワード：沈埋トンネル、可撓性継手、クラウンシール、設計手法、目標性能

連絡先：〒651-0082 神戸市中央区小野浜町 7-30 TEL 078-331-0059 FAX 078-391-5680

継手（ジーン型ゴムガasket+連結ケーブル）と併用する場合には、ゴムガasketの初期圧縮力が開放した場合の検討を行い止水性の確認が必要となる。

クラウンシール式継手の設計については、夢洲トンネルの構造物に求められる耐荷力、止水性等に関する要求性能を満足させるために、表-1に示す目標性能を設定した。ここで目標性能とは、要求性能を満たすために設計段階で実現しようとする性能を示している。沈埋トンネルの基本的な目標性能と性能照査は、表中の下段に示すとおりであり²⁾、荷重状態を三段階に分けて設定した。荷重状態Ⅰは、常時荷重、温度変化および地盤沈下（供用期間100年）の影響を考慮した状態、荷重状態ⅡおよびⅢは荷重状態Ⅰにそれぞれレベル1およびレベル2地震動の影響を併せて考慮した状態である。

クラウンシール式継手の各構成部材の目標性能は、上述の沈埋トンネルの目標性能を参考にして表中のとおり設定した。そのポイントを以下に示す。

- ①荷重状態Ⅰから荷重状態Ⅱ（レベル1地震）までの目標性能は、セルフシールを含めた止水性が確保でき、取付けビームや移動制限部材（ストッパーケーブル、せん断キー）に力が作用するが、補修することなく使用が継続できることを基本とする。
- ②荷重状態Ⅲ（レベル2地震）の目標性能は、ノーズ部でのセルフシール機能が一時的に損なわれても、クラウンシールゴムの取付け部および二次止水ゴムにより止水できることを基本とする。取付けビームおよびせん断キーについては、破壊すると補修が非常に困難であり、かつ継手の構造安全性が大きく損なわれることを考慮して、破壊しないことを基本とした。また、地震後に補修が必要となっても早期に機能回復できることとした。また、クラウンシール式継手では、地震時の復元力がケーブルにしか期待できない。このため、ストッパーケーブルについては、継手に過大な目開きを発生させないように設定する必要がある、破断に対する余裕を持たせて降伏させないことを基本とした。よって、地震後もケーブルを補修せずに使用できることとした。

表-1 継手構成要素の目標性能

| 荷重状態 | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
|----------------------------------|--------------------|--|---|---|
| 各構成部材の目標性能 | 遊間量 | クラウンシール取付部ならびにノーズ部でのセルフシールを含めた止水機能を有する遊間（初期遊間量、ストッパーケーブルの遊び量と伸びを考慮）が確保できる。 | | クラウンシール取付部ならびに二次止水ゴムによる止水機能を有する遊間（初期遊間量、ストッパーケーブルの遊び量と伸びを考慮）が確保できる。 |
| | クラウンシールゴム | ノーズ部が取付けビーム内に納まっており、セルフシールを含めた止水機能が確保できる。 | | ノーズ部が取付けビームから離れても、取付部での止水機能が確保できる。 |
| | 取付けビーム | 緩衝材が取付けビームに触れない。 | 緩衝材が取付けビームに接触するが、地震後も取付けビームを補修せずに使用できる。 | 取付けビームが破壊しない。地震後、補修が必要となっても、早期に機能回復できる。 |
| | ストッパーケーブル | ケーブルに張力が発生しない | ケーブルを補修せずに使用できる（ケーブルに発生する応力が降伏強度に達しない）。 | |
| | 鉛直せん断キー 水平せん断キー | 供用中にせん断キーが支障なく使用できる | せん断キーを補修せずに使用できる。 | せん断キーが破壊しない。地震後、補修が必要となっても、早期に機能回復できる。 |
| | 二次止水ゴム | | | 一時的にセルフシール機能が損なわれても、クラウンシール取付部と合わせて二重の止水機能が確保できる。 |
| 目標性能と性能照査 （沈埋トンネル技術マニュアル、改訂版） | | 構造物の本体あるいは継手において、供用に支障のない程度に止水性が確保されている。 ・使用限界状態 ・終局限界状態（地震時以外） ・ひびわれ、応力度制限値、変形に対する照査 ・断面破壊に対する照査（地震時以外） | トンネル各部位あるいは各構造物が安全性を十分に有し、使用性に低下がなく、必要に応じて軽微な補修により使用を継続できる性能を有する（耐震性能1）。 終局限界状態（地震時） 弾性限界の照査（レベル1地震動） | 構造物の局所的な損傷は許容するが、構造体の安全性は損なわない止水性能、耐荷性能を有しており、補強を必要としないで使用を継続できる性能を有する（耐震性能2）。 断面破壊に対する照査（レベル2地震動） |

各部材の目標性能から定まる継手全体としての性能は表-2のとおりとなる。荷重状態Ⅱに対応するトンネル軸引張方向の許容遊間量は、性能確認実験でセルフシールによる止水性が確認された遊間（250mm）としている。また、荷重状態Ⅲに対応する同遊間量は、同様に実験でゴム取付け部の止水性が確認された遊間（300mm）としている。この場合、レベル2地震の作用を受けても、継手遊間は300mmを超えないものとし、ストッパーケーブルも弾性範囲内で収まるように設計することになる。

一方、トンネル軸圧縮方向の変位に対しては、クラウンシールゴムの止水性は確保されるが、主に取付けビームの軸力に対する照査が必要になる。

[参考文献] 1) 北山斉, 横田弘, 熊谷兼太郎: 沈埋トンネルの新型継手構造の開発(報告), 土木学会第57回年次学術講演会, VI-330, 2002.9. 2) (財)沿岸開発技術研究センター: 沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版), 2002.8.

表-2 クラウンシール式継手全体の性能

| 遊間 (単位:mm) | 小 ← → 大 | | | |
|---------------|-----------------------------|--------------|-------|--------------|
| | 0 | 50 | 250 | 300 |
| 初期遊間 | 初期遊間 | | | |
| 荷重状態 | Ⅲ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ Ⅲ |
| ストッパーケーブル | 無荷重状態 | | | 引張; 弾性範囲内 |
| 取付けビーム | 圧縮; 終局耐力内 | 圧縮; 弾性範囲内 | 無荷重状態 | |
| クラウンシール ゴム | セルフシール確保 (縮着部とノーズ部で止水確保) | | | 縮着部で 止水確保 |
| 二次止水 ゴム | 止水性確保 | | | |