

沈埋トンネル用新型継手構造の数値解析について

国土交通省近畿地方整備局 江崎 竜夫
 独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 岩波 光保
 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 宇城 真

1. はじめに

現在、大阪港で沈埋工法による道路・鉄道併用トンネルとして建設が進められている^{さきしま ゆめしま} 咲洲と夢洲（埋立造成中）を結ぶ夢洲トンネルは、大阪湾沖合の超若齢地盤への埋立て造成に伴う影響から、将来、護岸部に大きな不同沈下が生じることが予測されている。また、トンネル線形の特殊性に起因する函体のねじれの発生も懸念されている。これらのことから、沈埋函の継手部には従来にない極めて大きな変形が生じることが予測され、大きな継手変位にも追従可能な新型継手構造の開発が求められた。クラウンシール式継手は、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り、既に二次元模型および三次元模型を用いた性能確認実験による検証を終えている。その結果、変形性能および止水性能において必要性能を満足しており、夢洲トンネルに適用することに特段の支障がないことまでは確認がなされたところである¹⁾。しかし、今後の実用化にあたっては、設計手法の確立が必要条件であり、模型実験では確認されなかった変形挙動の再現、および実験では確認することができないクラウンシールゴム各構成材料の内部ひずみ量を数値的に評価できる数値解析手法の構築が不可欠となってくる。本稿は、クラウンシール式継手構造のクラウンシールゴムを対象に、二次元および三次元の非線形有限要素解析を行ったので、その解析結果について報告するものである。

2. クラウンシールゴムの概要

図-1に示すクラウンシールゴムは、クラウンシール式継手構造の締着機構の一次止水ゴムとしての役割を担い、締着部（取付け部）の止水機能は勿論のこと、フェールセーフとしてのノーズ部の止水機能も兼ね備えた信頼性の高い止水材である。また、その構成要素は、高硬度ゴム、普通硬度ゴムのゴム材料と、補強材であるアラミド繊維、普通繊維（ナイロン繊維）の繊維材料により構成されている。高硬度ゴムは、クラウン部の大部分を構成し、硬度を70度以上

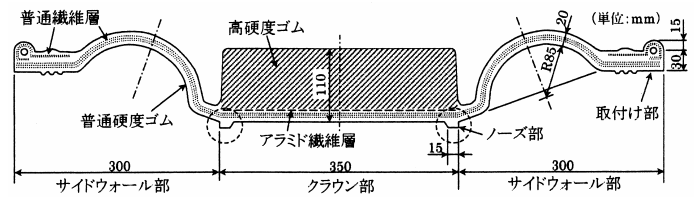


図-1 クラウンシールゴムの概要

ることにより自立性（セルフサポート）を高めている。普通硬度ゴムは、サイドウォール部、ノーズ部およびクラウン部の一部を構成し、止水性と追従性を高めるためゴム硬度を50度としている。アラミド繊維は、クラウン部の撓みを抑えるため、高硬度ゴムの下に横断方向に片織りで配置された引張補強材である。普通繊維は、普通硬度ゴムの多方向への変形に追従できるよう平織りで配置されたナイロン繊維である。

3. 二次元 FEM 解析

(1) 解析の概要

本 FEM 解析は、三次元模型実験では確認できないクラウンシールゴムの内部ひずみ量の評価や、ゴムに改良を加えた場合等の変形挙動の再現などを目的とした数値解析手法を構築するために、クラウンシール式継手構造の変形挙動確認実験における計測結果を踏まえたうえで、材料定数および解析モデルの妥当性の検証を行い、精度の高い解析値を求めることを目的としている。本継手構造の直線部の照査を主目的としてクラウンシールゴムの長手方向を無視した二次元 FEM 解析を行った。また、直線部と比較してコーナー部の内部ひずみが大きくなることが推測されることから、コーナー部の照査を目的とした三次元 FEM 解析についても行ったが、本稿では、割愛することとする。

なお、取付けビームの遊間が狭い状態では、サイドウォール部にゴムのたるみが生じるため、解析が収束しない場合がある。そこで、サイドウォール部を非線形バネで置き換えて単純化したモデルを用いた解析についても行った。この非線形バネは、サイドウォール部がたるんだ状態では剛性を持たないが、たるみが無くなった場合には剛

キーワード：沈埋トンネル、可撓性継手、クラウンシール、数値解析、有限要素法
 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

性を有するものである。

(2) 解析モデルの設定

ゴム材料は、一般的に非線形性が極めて強く、また変形量が非常に大きいことは周知のとおりである。このような非線形かつ超弾性である材料の応力-ひずみ関係を表現するには、Ogden モデルが適しているため、本解析に用いた。

また、要素については、ゴム部は平面ひずみ要素とし、繊維層は引張方向のみに剛性を有するトラス要素とした。境界条件については、締着部は固定とし、ノーズ部は取付けビームに接触しながらノーズ部が移動できるように接触バネを取り入れた。

なお、荷重条件については、本トンネルの最大水深に相当する作用水圧である 300kPa とした。解析モデルを図-2に示す。

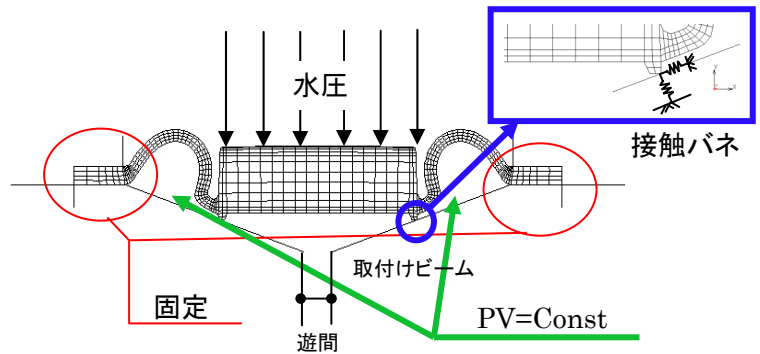


図-2 クラウンシールゴムの解析モデル

(3) 解析結果

変形挙動の再現においては、性能確認実験の実測値と解析値がほぼ一致しており、クラウンシールゴムの追従状況を的確に追跡でき本解析が有効であることが確認できた。

本 FEM 解析は、サイドウォール部を非線形バネに置き換えないモデルと、非線形バネに置き換えたモデルの解析を行ったが、便宜上、前者の解析をフルモデル解析、後者を非線形バネモデル解析と呼ぶこととする。これらの解析結果を比較した結果、各構成材料のひずみの極値は撓み性が大きいサイドウォール部には発生せず、クラウン部（ゴム体）ではノーズ部の近傍で極値が生じることがわかった。クラウンシールゴムのひずみ状況の一例を図-3に示す。

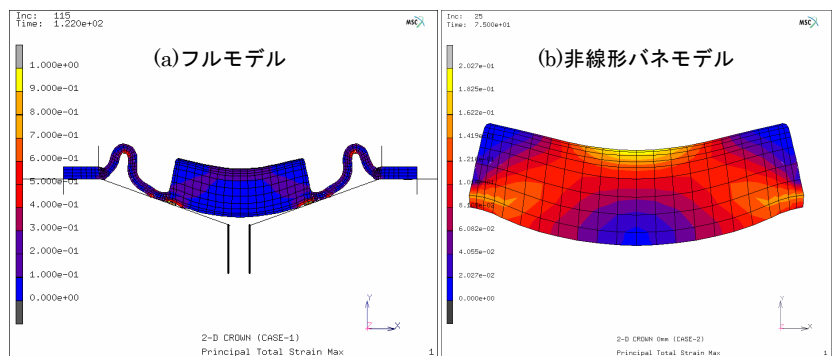


図-3 クラウンシールゴムの解析結果

また、クラウンシールゴムの内部ひずみの解析においては、いずれも許容ひずみ以下であり、安全性に問題がないことが数値的に確認できた。構成材料別の最大主ひずみの算出結果を表-1に示す。ただし、破断ひずみは、各構成材料の特性値を、許容ひずみは、ゴムに対しては安全率 2.2 を、繊維層に対しては安全率 2.5 を確保するよう便宜的に定めたものである。

表-1 クラウンシールゴムの構成材料別の最大主ひずみ

継手変位条件		ひずみ (%)			
軸方向	せん断方向	高硬度ゴム	普通硬度ゴム	アラミド繊維	普通繊維
0mm	0mm	22.0	43.0	0.1	0.1
	150mm	22.0	70.0	0.5	0.0
50mm	0mm	22.0	30.0	0.1	0.9
	0mm	29.0	54.0	0.5	6.1
300mm	150mm	26.0	120.0	0.2	7.1
	破断ひずみ (%)		390.0	450.0	5.0
許容ひずみ (%)		180.0	200.0	2.0	18.0

4. まとめ

クラウンシール式継手構造の設計手法を確立する上で不可欠な数値解析手法を構築することを目的として、クラウンシールゴムの非線形有限要素解析を行った。材料定数および解析モデルを適切に設定して解析を行うことで、クラウンシールゴムの継手変位に対する追従状況を精度よく再現できることが確認された。また、各構成材料の内部に発生するひずみを解析により求めることができるようになり、継手の安全性を照査することが可能になった。

現在、別途、クラウンシールゴムの長期耐久性（クリープ、応力緩和、耐海水性）を評価するための劣化促進試験を実施している。さらに、設計手法の確立に向けた検討も進めているところである。これらについても、結果がまとまり次第追って報告する予定である。

[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 回年次学術講演会講演概要集, VI-330, 2002.9