

沈埋函継手の種類の違いによる地震時の断面力照査

早稲田大学大学院理工学研究科 学生会員 田中 寛久
早稲田大学大学院理工学研究科 フェロー 清宮 理

まえがき

兵庫県南部地震を契機に沈埋函の断面力をより低減しレベル2の地震動に対応するため、接合部で変形吸収の大きな柔継手が求められる場合が生じている。そこで沈埋トンネルを対象にポートアイランド波を入射し、多質点系モデルによる動的地震応答計算を実施し、沈埋函継手（剛結合継手、PC ゴムガスケット継手、ベローズ継手及びクラウンシール継手）による沈埋トンネルの変位と軸力の最大値・最小値と軸力の時刻歴を求める。それらをもとに継手の効果について述べる。

1. 沈埋トンネルの定義

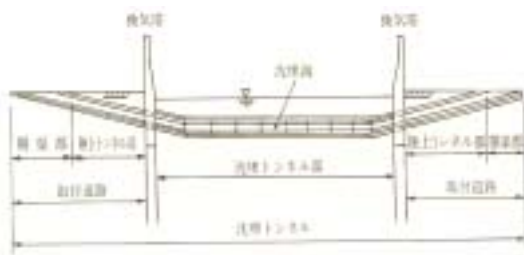


図-1 沈埋トンネルの構成

沈埋トンネルは水底トンネル工法の一つであり、運河、河川、航路などの水底にあらかじめトレンチ（溝）を掘削しておき、ケーソンヤード、造船所などで適当な長さに分割して鋼やコンクリートで製作されたトンネル構造体（沈埋函またはエレメントという）を、水に浮かべ敷設現場まで曳航し、トレンチに沈設して沈埋函どうしを静水圧などを利用して結合した後、埋設してトンネルを完成させる工法である。

2. 解析対象トンネルのモデル化

地震応答計算のモデルの概要を図2に示す。表層地盤を質点に、沈埋函をはり部材に置換した。モデル化は沈埋トンネル部、換気塔部及び陸上トンネル部について行い、表層地盤を沈埋トンネル軸線方向に52個に分割し、それぞれを1質点に置換した。質点同士（K2バネ）、質点と工学的基盤（K3バネ）、質点とはり部材（K1バネ）はバネで連結した。またK2とK3バネにはダンパーを並列に配置した。

多質点系モデルにモデル化した沈埋トンネルを図3に示す。

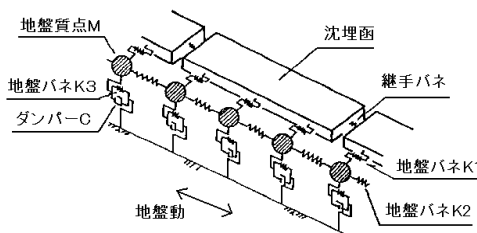


図2 地震応答計算のモデル

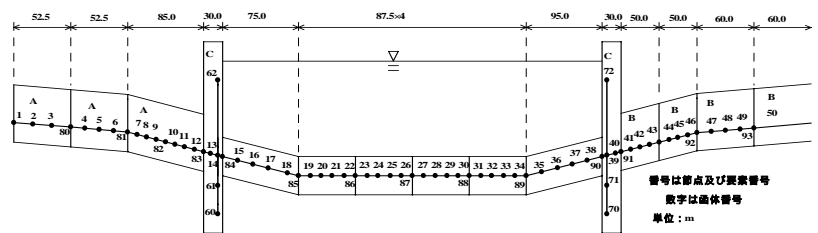


図-3 沈埋トンネルの解析モデル

3. 解析に用いた継手の特徴

3.1 剛結合継手:剛結合継手は、沈埋函本体と同程度の強度を保有する継手で、剛結合は構造が簡単な上、止水性も確実である。ただし、地震、周辺地盤の不等沈下、温度変化などに対して追従性が小さく、函体に大きな断面力を発生させることになる。このため、地盤状況が良く地震活動が少ない場合に採用される。

3.2 PC ゴムガスケット継手:PC ゴムガスケット継手の特徴は、図4に示すように圧縮抵抗部材としてゴムガスケット、引張抵抗部材としてPC ケーブルを用いる。またせん断力には水平・鉛直せん断キーで抵抗する。万一の漏水には二次止水ゴムで抵抗することができる。一方、設計地震力の増加、あるいは洪積層の沈下等の見込む設計沈下量の増加で継手の圧縮・引張量がゴムガスケットの許容値を上回ることが多くなってきている。今回の解析において用いたPC ケーブルの種類はF270Tであり、ゴムガスケットは全て

キーワード：沈埋トンネル、多質点系バネモデル、レベル2の地震動、柔継手、ピン構造

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51号館 16F-01 TEL&FAX：03-5286-3852

ジーナ型の止水ゴム（GINA 190 148 50）である。

3.3 ベローズ継手：ベローズ式可撓性継手部は、従来のゴムガスケットやPCケーブルが担ってきた断面力の伝達機能、止水機能を鋼製のベローズによって担う構造である。図 5 に構造の概要を示す。ベローズ式可撓性継手部は函体に内包する形で工場製作するため現場接合がない。強度、水密製を気中で確認できるため、継手部の信頼性は高い。函体同士は簡便な施工用継手によって水圧圧接し剛結する。今回の解析において用いたベローズ継手の鋼種はSM490Yであり、板厚は14mmとした。

3.4 クラウンシール継手：沈埋トンネルの継手部には、大きな変位・伸縮量を吸収する性能を有することが要求されるため、従来のGINA型ゴムガスケットを用いた継手や鋼製ベローズ継手では、対応できないケースが生じている。そこで、ゴムも持つ伸縮性と止水性が良いという特性を生かしつつ、より大きな変位・伸縮量に対しても追従できるクラウンシール継手（Crown Seal Joint）を新たに考案・開発している（図 6 参照）。今回の解析において用いたクラウンシール継手の硬度は70度と硬い材質である。

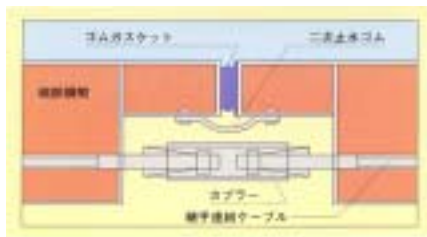


図 4 柔継手の概要図



図 5 ベローズ継手断面図

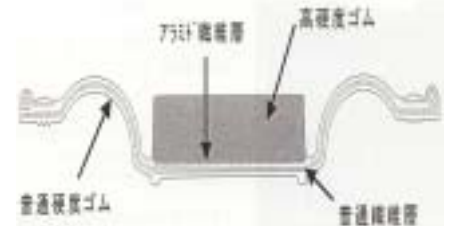


図 6 クラウンシール継手

4. 解析結果

ポートアイランド波（図 8 参照）を入射し軸力や変位の著しく大きい要素番号（この場合要素番号 84）についての軸力の時刻歴を図 7 に示す。

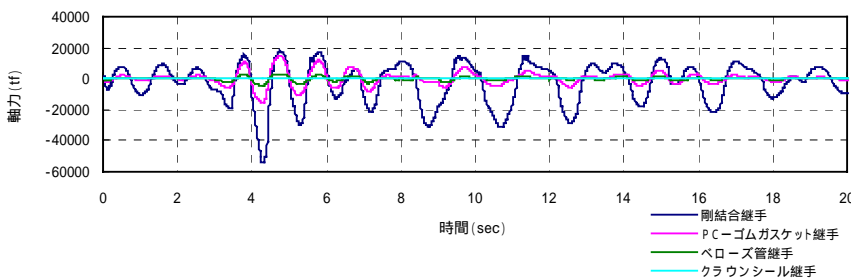


図 7 要素番号 84 における軸力の時刻歴

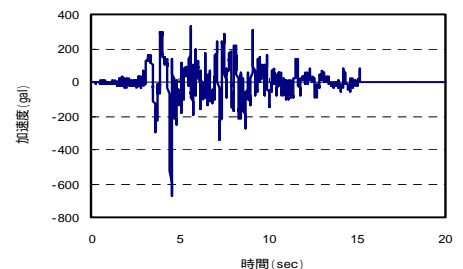


図 8 ポートアイランド波（入力地震動）

5. 考察

表 1 軸力の最大値

| 継手 | 剛結合継手 (tf) | PC-ゴムガスケット継手 (tf) | ベローズ管継手 (tf) | クラウンシール継手 (tf) |
|-----|---------------|----------------------|-----------------|-------------------|
| 引張力 | 1.830E+04 | 1.478E+04 | 4.751E+03 | 2.047E+03 |
| 圧縮力 | 5.192E+04 | 1.553E+04 | 5.366E+03 | 2.028E+03 |

図 7 より、全継手における軸力の時刻歴のグラフの概形は似ており、ポートアイランド波の最大の加速度 679(gal)を観測した時刻 4.51(sec)付近でどのグラフも最大軸力となっている。その後軸力は段々と小さい値をとっている。また、各継手の軸力の最大値を表 1 に示す。表 1 より、剛結合継手>PC-ゴムガスケット継手>ベローズ継手>クラウンシール継手の順で最大発生軸力が小さくなっている。この事を考えると、柔継手の特性（PC-ゴムガスケット継手及びベローズ管継手）とピン構造の特性（クラウンシール継手）が生かされていると考えられる。

6. まとめ

柔継手の採用により沈埋函の断面力を低減できるが、今回新たに提案したクラウンシール継手は従来の柔継手より沈埋函本体の配筋（鋼材量）を大幅に減らすことが可能である。

参考文献 [1]清宮 理：沈埋トンネル耐震継手の効果，第 2 回免震制震コロキウム，1999.12 [2]清宮 理，他：波形鋼板を用いた沈埋トンネルの柔継手の効果，構造工学文集，pp793～800，Vol.45，1999.3