

小口径シールド結合リングによる超大断面拡幅工法における要素载荷実験

清水建設(株)
(株)精研正会員 浜口 幸一 吉武 謙二
正会員 ○富田 一隆 伊豆田 久雄

1. はじめに 大深度大断面道路トンネル分岐合流部構築のためのSR-J工法などの開発において、力学特性を把握するためさまざまな実験を行なった。想定した工事のトンネル断面の1/20縮尺試験体リング载荷実験では、想定応力を十分満たすリング複合体の健全性が確認された¹⁾²⁾。本稿では、図1のリング複合体から1スパン分を切り出した要素試験体の最大平均応力が大きい条件を探すために行なった载荷実験結果を示す。要素試験体は特殊な形状であり、また凍土の強度特性が複雑に絡み多数のデータを取る必要性があったため、小型要素試験体を用いた载荷実験（小型要素実験）と、また想定している工事の1/7.5縮尺の中型要素試験体を用いた载荷実験（中型要素実験）を行なった。

2. 小型要素実験

1) 実験方法 直方体試験体は、図1に示す中詰めされた半割鋼管と粗砂凍土から成る。代表的な実験パラメータは鋼管内中詰め材料と外側凍土厚であり、共通条件は氷飽和（容積含水率30%）、試験体温度 -15 ± 1 とした。試験中は試験体温度が変化しないよう低温箱内で载荷し、载荷は変位制御方式で行なった。小型試験体の寸法は、試験体長159mm、断面 100×100 mmとした。

2) 実験結果

中詰め材料の影響：代表的な平均応力-平均歪曲線を、図2に示す。ここで、平均応力とは、荷重を断面積で除したもので、平均歪とは、試験体全体の変位量を初期試験体長で除したもので、また、比例限界応力とは平均応力-平均歪曲線の初期立ち上がり直線から外れる応力、最大平均応力とは平均応力の最大応力と定義した。実験条件として、中詰め材料は、なし、凍土($E_{50}=4,400\text{N/mm}^2$)、石膏($E_{50}=15,000\text{N/mm}^2$)の3種類とした。いずれの試験体も最大平均応力が出現した後、緩やかに応力が減少する延性的な挙動を示した。中詰め材料の変形係数が小さくなるにつれて、試験体の変形係数、最大平均応力ともに減少した。これは中詰め材料の変形係数が小さくなると、载荷によって鋼管変形がY方向（図1）へ大きくなり、外側にある凍土が変形しやすくなったためであると推測した。この結果などを踏まえ、後述する中型要素実験の鋼管内中詰め材料は、変形係数の大きい材料であるモルタルとした。

外側凍土厚の影響：代表的な平均応力-平均歪曲線を、図3に示す。外側凍土厚とは、凍土厚から鋼管径を引いたものであり、凍

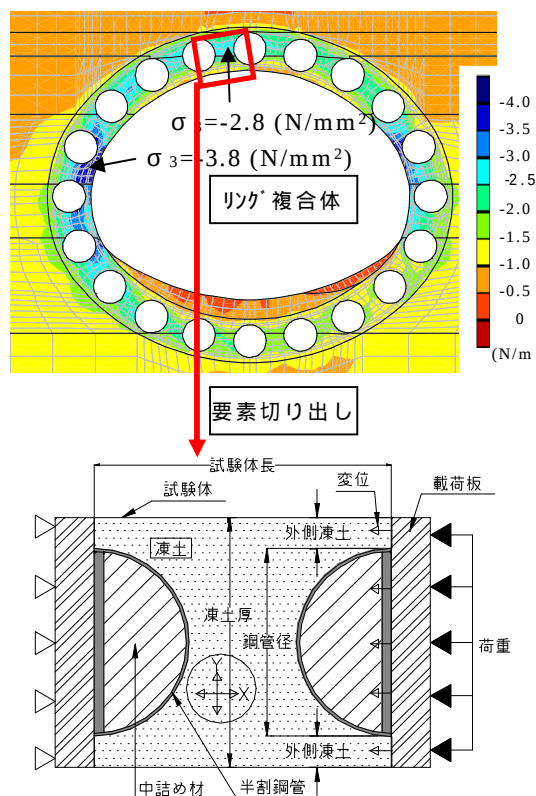


図1 要素実験試験体と载荷の模式図（小型、中型）

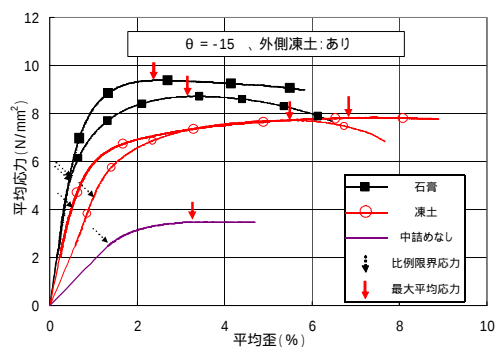


図2 平均応力 - 平均歪曲線（小型：中詰め材）

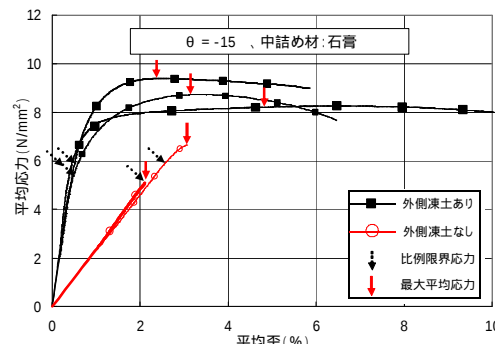


図3 平均応力 - 平均歪曲線（小型：外側凍土厚）

キーワード：道路トンネル、大断面拡幅、シールド、凍土、SR-J工法、模型実験

連絡先：〒112-0002 東京都文京区小石川 1-12-14 日本生命小石川ビル 7 階 (株)精研 技術部 TEL03-5689-2355

土がある場合の厚みは鋼管径の33%である。外側凍土厚がない場合には脆性破壊が多く発生した。外側凍土がある場合は、延性的な挙動を示し、構造体として安定性が増す結果となり、最大平均応力も大きかった。

3. 中型要素実験

1) 実験条件 載荷装置と試験体寸法及び計測位置を、図4に示す。試験体は、試験体長 636 mm、凍土厚 540 mm、奥行き 250 mm であり、試験体温度は -15 ± 2 であった。試験体の前面(F)と背面(B)には歪ゲージを貼付け、計測を行なった。

2) 実験結果 実験の一例(載荷条件は水平荷重:鉛直荷重 = 3:1)での、歪の経時変化を図5、平均応力 - 平均歪曲線を図6に示す。凍着部歪ゲージから確認できる一時的な変化が現れた 400sec 付近では比例限界応力であった。これは、有効断面積の減少や外側凍土の梁効果の減少などから起こったと推測し、また、凍土自体の圧縮せん断を受けるときの変形特性にも関係していると思われる。最大平均応力(750sec 付近)になる前の 550sec 付近から、中央部歪ゲージ(F3, B3)の歪増加速度が大きくなっている。これは凍土に大きな圧縮せん断が起り、微小なクラックが断続的に発生したと推測した。なお、最大平均応力以後の挙動は延性的であり、構造体としての安定性は確認された。最大平均応力時点の平均歪は約 0.7% であり、この時点では目に見えるクラックや鋼管と凍土の剥離は確認できなかった。なお、クラックや鋼管と凍土の剥離を確認するために大きく変形(平均歪 5.4%)させた状態は写真1のようであった。

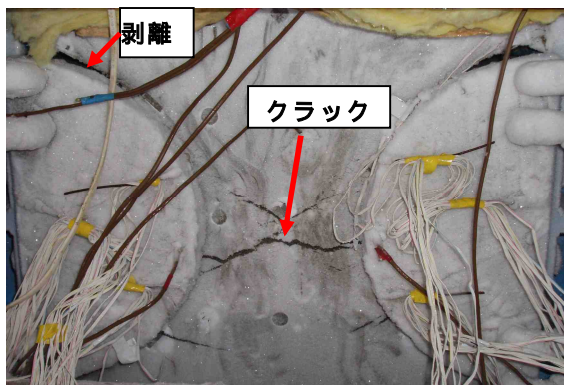


写真1 5.4%歪後の試験体

4. あとがき 本稿では、要素試験体において、鋼管中詰め材の変形係数の違い及び外側凍土の有無による最大平均応力及び構造体の安定性、圧縮せん断による最大平均応力の発生について報告した。今後、得られた結果を SR-J 工法などの全体系の設計に反映させる予定である。

参考文献

- 1) 吉武謙二、後藤茂、浜口幸一、富田一隆: 地盤凍結により結合された併設小トンネル先受けによる本線トンネル拡幅工法(SR-J 工法)の開発(その1)工法概要とリング載荷実験, 第41回地盤工学会発表講演集, 2006.
- 2) 浜口幸一、矢部幸男、吉武謙二: 小口径シールド結合リングによる超大断面拡幅工法(SR-JP 工法)の開発, 土木学会第61回年次学術講演集, 2006.

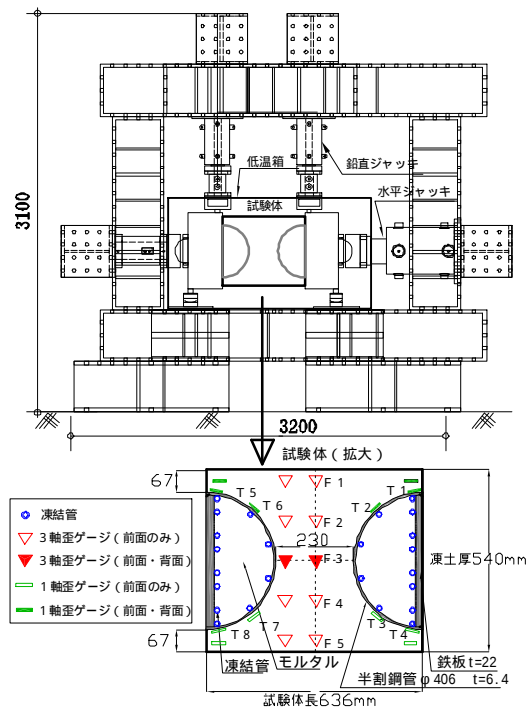


図4 載荷装置と試験体寸法及び計測位置(中型)

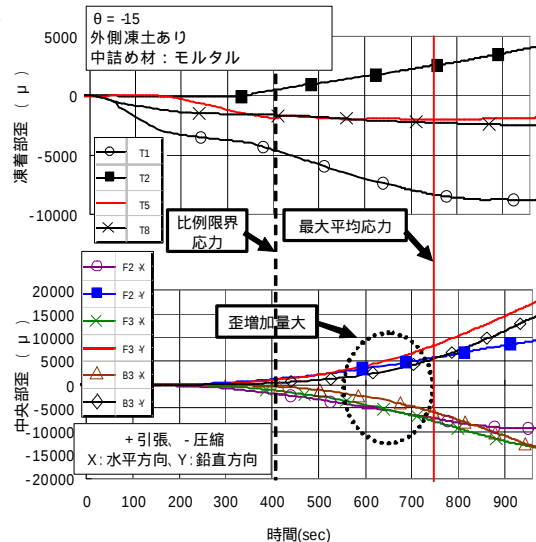


図5 歪の経時変化

(中型, 水平荷重:鉛直荷重 = 3:1)

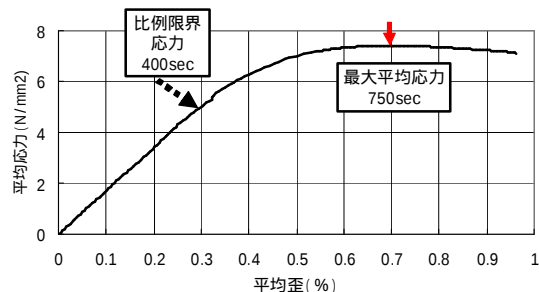


図6 平均応力 - 平均歪曲線

(中型, 水平荷重:鉛直荷重 = 3:1)