

# U型土留めを本体利用したインバートの不連続面の補強に関する実験的検討

小出 孝明<sup>1</sup>・日下 敦<sup>2</sup>・巽 義知<sup>3</sup>・菊地 浩貴<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 三井住友建設株式会社 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号)  
E-mail: tkoide@smcon.co.jp

<sup>2</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
E-mail: kusaka@pwri.go.jp

<sup>3</sup>正会員 戸田建設株式会社(元土木研究所) (〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-9-1)  
E-mail: yoshitomo.tatsumi@toda.co.jp

<sup>4</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
E-mail: kikuchi-k573ck@pwri.go.jp

道路トンネルでは盤膨れ等の変状に対して、インバートの改築や追加設置工事が実施されている。交通規制条件により、一般車の通行を確保しながらインバートを片側1車線ずつ分割施工する場合には、土留め壁を設置する準備期間が工期を長くする一因になっている。このような課題に対して、筆者らは、従来の親杭横矢板土留めからU型土留めに変更し、土留め壁の設置と掘削を同時施工して工期を短縮する工法を研究・開発している。本工法においては、U型土留めを本体利用するため、不連続面となるインバート本体との接合面が、インバート構造の安定性に影響をおよぼす可能性がある。そのため、標準のインバートを模擬する接合部の無い供試体、本工法でのインバートを模擬する接合部を補強しない供試体と補強した供試体で3回の実大載荷実験を実施して結果を比較し、不連続面による構造安定性への影響を確認した。

**Key Words:** road tunnel, re-construction, inverted-arch, discontinuity, stability, loading test

## 1. はじめに

道路トンネルでは、盤膨れ等の変状に対してインバートの改築や追加設置が実施されている。このような工事では、一般車の通行を確保するために道路の中央に土留め壁を設置し、インバートを片側1車線ずつ分割施工する場合(図-1)があるが、親杭打設のための準備期間を必要としたり、狭いスペースでの煩雑な作業により工期や工費が増加する傾向がある。また、長期間の交通規制に

よる社会的影響や経済損失に繋がっている。このような課題に対して、施工効率化による工期短縮を目的として、メッセルシールド機とU型土留めを用いて土留め工と掘削工を同時施工する工法(図-2)を研究・開発している<sup>1)</sup>。本工法の課題として、U型土留めの本体利用によりインバートに不連続面が2面生じるため、構造安定性に影響をおよぼす可能性がある。そのため、標準の接合部の無いインバートを模した供試体、本工法でのインバートを模擬する接合部を補強しない供試体と補強した供試体で

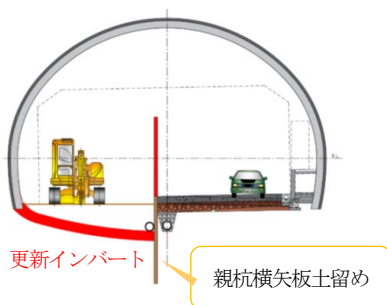


図-1 従来工法の概要

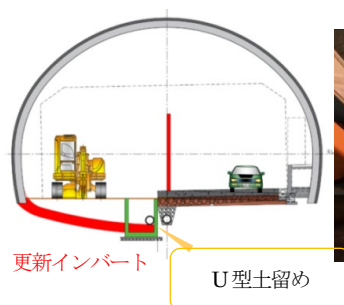


図-2 本工法の概要

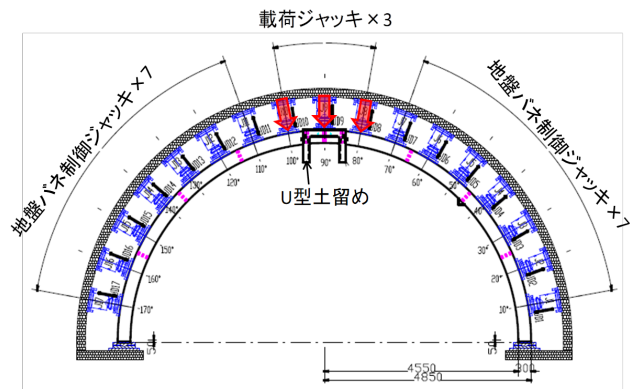


【施工のイメージ】

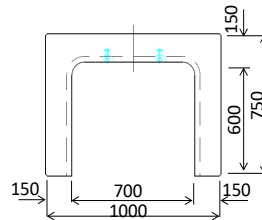
3 回の実大載荷実験を実施して結果を比較することで、不連続面による構造安定性への影響を確認した。なお、接合部の無い供試体と接合部を補強しない供試体による比較検討結果は既発表<sup>3)</sup>であり、不連続面を有することによるインバート構造の安定性に対する有意な差は確認されなかった。本稿では、既発表の実験で発生した僅かな差や変形の傾向の違いについて、接合部を補強した供試体の載荷実験を追加実施して、補強により生じる変化を確認することにより、不連続面による構造安定性への影響検討を進めた。

## 2. 実験の概要

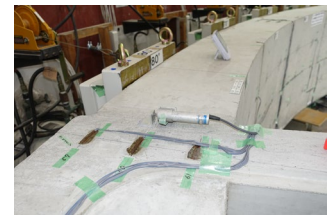
載荷実験は実物と同程度の規模で実施するために、土木研究所が所有する実大載荷装置(図-3)を用いた。不連続面の影響は、表-1 に示す 3CASE の実験の結果を比較することで評価した。まず、平成 28 年の接合部の無い供試体による覆工載荷実験(以降、CASE1:連続)<sup>4)</sup>を標準のインバートを模擬する実験と位置づけ、本工法で構築するインバートを模擬する、U型土留めをインバートと一体化し接合部を補強しない供試体による載荷実験(以降、CASE2:不連続)とU型土留めをインバートと一体化し接合部を鉄筋で補強した供試体による載荷実験(以降、CASE3:補強)を、CASE1の実験条件に可能な限り近い状態で実施した。供試体の仕様はコンクリートの呼び強度 23N/mm<sup>2</sup>、厚さ t=300mm、インバート内径 R=4,550mm とした上で、本工法によるインバートを模擬する供試体には、中央にU型土留め(コンクリート強度 30N/mm<sup>2</sup>、t=150mm、W=1,000mm、H=750mm、配筋 D10 @180mm)を配置して一体化した(図-3)。CASE3においては、D19の鉄筋をU型土留め内を貫通するように200mm間隔で配置して、インバート本体との定着長を1000mmとして、U型土留めとインバート本体を連結して補強した(図-3)。載荷方法は変位制御として、下方からの盤膨れを想定し、最も厳しい条件と考えられるU型土留め周辺への集中載荷とした。供試体外周の10°~170°範囲に10°間隔で配置された全17箇所の油圧ジャッキの内、80°、90°、100°位置のジャッキで載荷し、残りのジャッキは供試体が外側に変形した場合に400kN/mm相当の地盤バネ反力が作用するように制御した。載荷中の計測は、全ジャッキの荷重とストローク、供試体の主に内外面の3測線(供試体中心測線と中心から25cm離れた2測線)の周方向のひずみ(ひずみゲージ計187個)と内空変位(45°、135°、U型土留め中心、インバート両端部)を測定するとともに、各載荷ステップ毎に供試体表面に生じるひび割れを観察した。



【実験装置および供試体の配置】



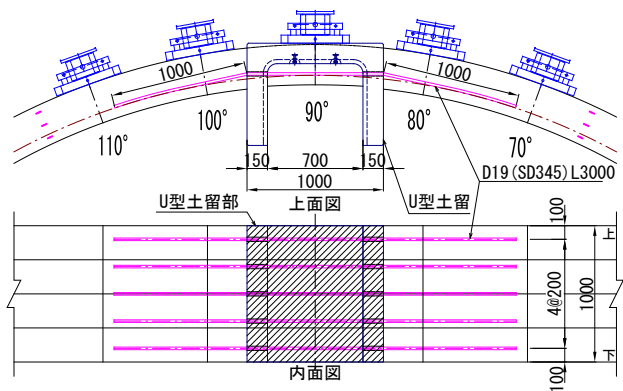
【U型土留めの寸法】



【不連続面のずれ測定】



【45°、135°の内空変位測定(直角2方向)】



【不連続面の補強】

図-3 実験の概要

表-1 実験 CASE 一覧

実験CASE	不連続面	コンクリート種別	厚さ (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
CASE1 連続 (H28発表)	無し	無筋	300	25.37	19.31	0.152
CASE2 不連続 (既発表)	2面	無筋	300	23.20	17.92	0.154
CASE3 補強 (今回)	2面 (鉄筋補強)	無筋	300	25.80	19.47	0.150

### 3. 実験の結果

接合部が無い CASE1, 接合部を補強しない CASE2, 接合部を鉄筋補強した CASE3 の実験結果を比較して, 不連続面による構造安定性への影響を検討する. まず, 目視観察結果について, 不連続面に着目すると, CASE2, CASE3 とともに実験終了まで密着状態が保持されていた (図-4, 5). また, 不連続面のずれの最終値は CASE2 で左面 0.05mm 右面 0.07mm, CASE3 が左面 0.06mm 右面 0.09mm で極めて微小だった. 続いて, 全ての CASE で供試体の破壊による荷重の急減により実験を終了したが, 破壊箇所は, CASE1, CASE3 では, 110°付近が破壊 (図-4) し, CASE2 では 70°付近が破壊した. 接合部の補強の有無による違いについて, CASE3 と CASE2 の破壊箇所の状態 (図-4, 5) を比較すると, CASE3 では 100°の外側から 110°の内側の圧壊箇所を結ぶせん断破壊面が明確である. 一方, CASE2 では 60°と 70°の間の供試体に無数の亀裂が発生しており, 当該箇所が全体的に圧壊したと捉えられ, 破壊形態が異なった.

図-6 に, 90°ジャッキ位置の変位と 80°(桃色), 90°(青色), 100°(緑色)の各ジャッキの載荷重および全ジャッキの載荷重の合計(赤色)の関係をプロットした荷重変位曲線を示した. 全ジャッキの載荷重の合計の曲線に着目すると, CASE1 (○マーカー) の最大値が 2,421kN であるのに対して, CASE2 (□マーカー) では 2,243kN となり 7%程度小さいが, CASE3 (▲マーカー) では 2,662kN

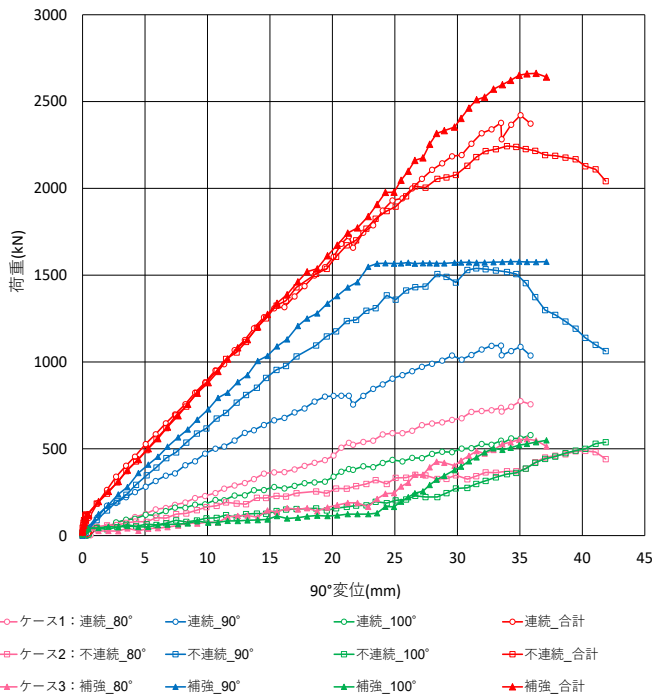


図-6 荷重変位曲線

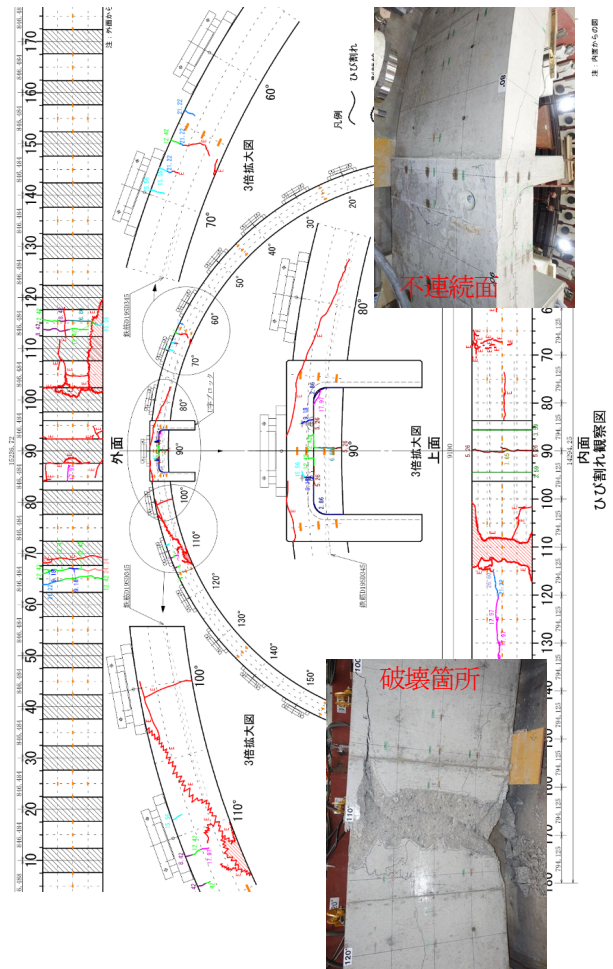


図-4 CASE3 供試体の破壊時の状況

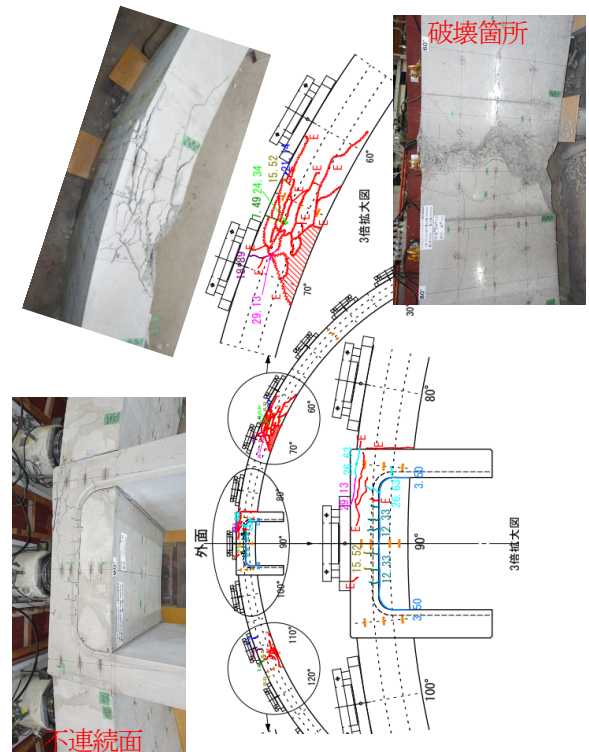


図-5 CASE2 供試体の破壊箇所の状況

となり CASE1 よりも 10%程度大きい結果だった。また、荷重と変位の傾きについて、全 CASE の傾きが 1,500kN 付近まで一致していた。その後は、CASE3 が 2,300kN 付近まで傾きを一定に保つのに対して、CASE1,2 は傾きが徐々に緩やかになり、変化率は 2,000kN 付近までは同程度で、その後は CASE1 よりも CASE2 の方が大きくなった。次に、各ジャッキの曲線に着目すると、全 CASE で 90° が 80° と 100° を上回るが、その差は CASE1 よりも CASE2 が大きい。この結果は、U 型土留めが現場打ち部よりも高強度で鉄筋補強されていることにより変形抵抗性が高いことに起因すると推察される。また、CASE2 よりも CASE3 の方が更に大きく、理由としては、接合部を鉄筋で補強したことにより変形抵抗性が向上したためと推察される。CASE2 と CASE3 の 90° の最大値の差が小さいことから、接合部を補強する鉄筋の影響は小さく、U 型土留めの変形抵抗性が高い影響の方が支配的であることが示唆される。

最大荷重時の供試体の周方向ひずみの分布 (図-7) を比較すると、内面では、破壊の予兆が確認された 70° と最終的に破壊した 110° の圧縮ひずみが全 CASE で卓越していた。内面の圧縮ひずみの値は CASE1 に対して CASE2, CASE3 では 25%程度大きかった。一方で、外面では破壊した 110° の引張ひずみと 90° の圧縮ひずみが卓越していたが、内面とは逆に CASE1 に対して CASE2, CASE3 のひずみが 30%程度小さかった。これらの差について、U 型土留めは高強度で有筋であることから無筋の現場打ち部よりも変形抵抗性が高いことから、90° 付近の変形が抑制されて周辺の変形の傾向が変化したと推察される。

内空変位荷重曲線 (図-8) に着目すると CASE2, CASE3 の 45° と 135° 位置の内空変位の傾向は概ね一致していて、供試体は概ね左右均等に变形している。CASE1 と比較して CASE2 と CASE3 では荷重方向への沈下が小さく、荷重直角方向に広がる傾向で一致していた。これにより、不連続面を鉄筋で補強しても、供試体全体の変形の傾向は、接合部の無い供試体と同様の状態には戻らないことが確認された。

#### 4. まとめ

既往研究で確認された、CASE1 と CASE2 の変形の傾向が異なる状況について、今回の接合部を鉄筋で補強した CASE3 では、破壊箇所や破壊形態に変化は見られたものの、変形の傾向が CASE1 に近づくような補強効果は確認されなかった。一方で、最大荷重の比較では、接合部の無い CASE1 に対して CASE2,3 ともに発生した差は 10%以下であり、有意な差は認められないもの

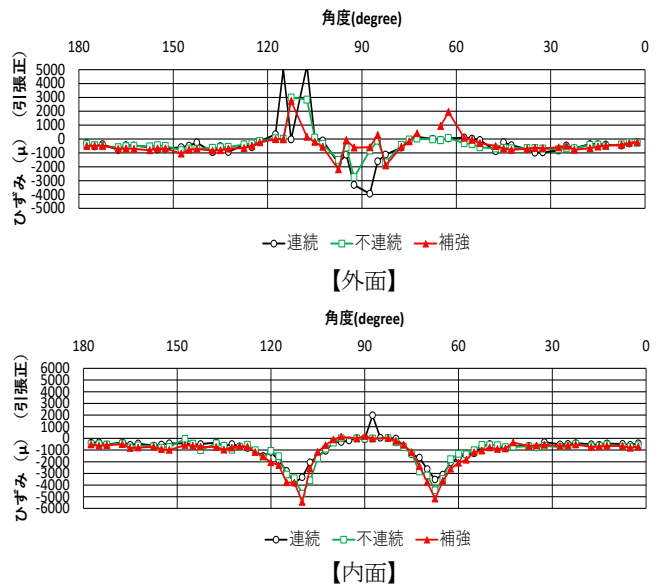
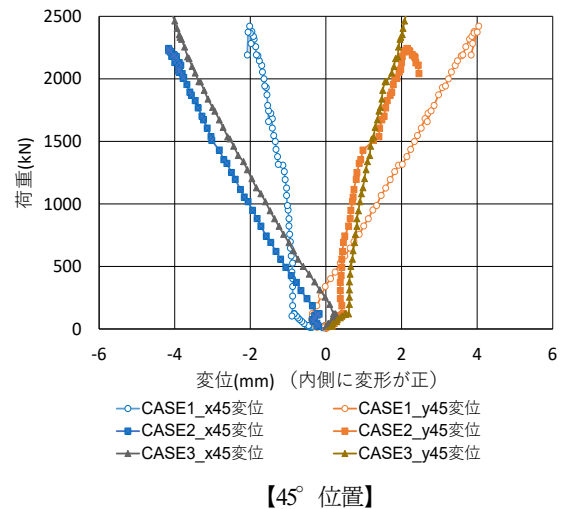
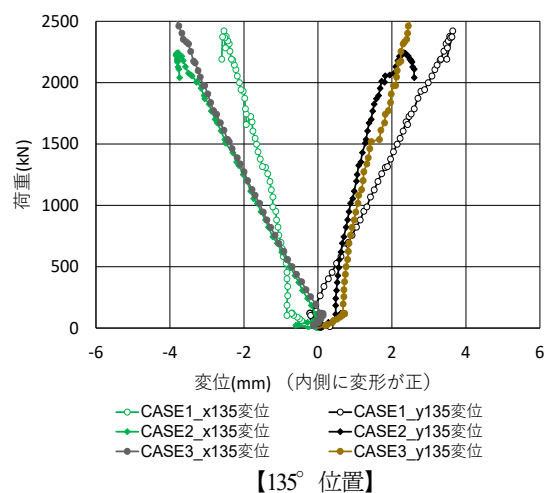


図-7 ひずみ分布曲線



【45° 位置】



【135° 位置】

図-8 荷重内空変位曲線

の、接合部が補強されていない CASE2 が CASE1 を僅かに下回るのに対して、接合部を鉄筋補強した CASE3 で

は、接合部の無い CASE1 よりも最大荷重が 10%程度大きくなり、接合部が無い供試体と同等以上の耐荷力が明確に確認された。

これらの比較結果より、本工法において生じる不連続面は補強の有無によらず破壊に至るまで密着状態を保ち、インバート構造の安定性に有意な影響を与えないことが確認できた。また、鉄筋により不連続面を補強すると、構造の安定性が向上するような明確な効果は確認できないものの、用心鉄筋として不連続面による不確実性を低減する役割を担う可能性がある。

- 関する実験的検討，第 33 回日本道路会議，2019
- 2) Takaaki K, Atsushi K, Yoshitomo T: A Study on Optimization of Re-construction of Inverted-arch While Keeping Traffic Lane Based on Actual Test in Abandoned Tunnel, *World Tunnel Congress*, CD-ROM, 2020
  - 3) 小出孝明, 日下敦, 巽義知, 菊地浩貴: U 型土留めによる不連続面を有するインバートの構造安定性に関する実験的検討, 土木学会第 77 回全国大会年次学術講演会概要集, 2022
  - 4) 石村利明, 砂金伸治, 日下敦: 炭素繊維を鋼材により固定した場合のトンネル補強効果に関する実験的検討, 土木学会第 72 回全国大会年次学術講演会概要集, 2017

(2022. 8. 26 受付)

#### 参考文献

- 1) 小出孝明, 鷹觜智司, 日下敦, 巽義知: 一車線を確保した状態でインバートを更新する工事の急速化に

## A STUDY ON STABILITY OF INVERTED-ARCH INTEGRATED WITH U-SHAPED PRECAST GUTTER BASED ON LOADING TESTS USING FULL-SCALE MODEL

Takaaki KOIDE, Atsushi KUSAKA, Yoshitomo TATSUMI and Kohki KIKUCHI

There are some cases of re-construction of inverted-arch because heaving has been continuing. In these cases, it isn't permitted to stop traffic and one traffic lane must be kept. Therefore, many times is wasted on building earth-retaining wall. So as the improvement, we introduce the combination of messenger shield machine and U-shaped precast gutters in place of soldier pile and lagging. Thereby excavation and building earth-retaining wall become simultaneous construction. However, in this method, inverted-arch has two discontinuities on both side of U-shaped precast gutter. And there is some possibility of destabilization. So we studied on stability of inverted-arch integrated with U-shaped precast gutter based on loading test using full-scale continuum model, discontinuous model and reinforced discontinuous model.