技術報文

# ジオグリッドによる圧力管路屈曲部の耐震化工法の研究開発

神戸大学大学院	河端	俊典
東洋建設株式会社	澤田	豊
農村工学研究所	毛利	栄征

1. はじめに

農業農村整備事業により築造された水利施設構造物は、極めて重要な巨大社会資本ストックで あり、次世代に継承されなければならないことは、言うまでもない。農業用水用パイプラインに 関しても同様であり、現在供用されているパイプラインの多くは、建設から 50 年以上経過した老 朽管路が多く、その更新時期を迎えている。こうした中、近い将来、東海、東南海、南海沖地震 が高い確率で発生することが予想されており、パイプラインの耐震性向上は、食料の安定供給の みならずストックマネジメントの観点からも重要な課題であることは言を待たない。

地震時におけるパイプラインの弱部の一つとして、屈曲部にスラスト対策として設置されるコ ンクリートブロックが考えられる。地震時、特に液状化地盤内においてコンクリートブロックを 含む曲管部が大きく移動し、隣接される管路との離脱が発生するという事故が報告されている<sup>1)</sup>。 著者らは屈曲部の耐震性向上を目的として、図-1に示すような、ジオグリッドを利用した新たな スラスト防護工法(以下提案工法)を提案した。本報では当提案工法の実用化に向けたこれまで の研究的取り組みを報告する。



### 2. 液状化地盤における水平載荷実験<sup>2)</sup>

液状化地盤における曲管部スラスト防護工法の安定性を検討することを目的に、(独) 農村工学 研究所が保有する大型振動台を用いた振動実験を実施した。図-2 に示すように、¢200mmの塩ビ 管の曲がり部(30度)と両側に2つの直管で構成されている模型管路を用いた。模型管路を砂お よび砕石により埋戻しを行い、土層底部より注水・飽和した。

実験は最初にスラストカを再現するために模型管路中心に水平力を作用させた。その後加振を 行い、液状化地盤内における模型管路の水平載荷挙動に関して検討を行った。実験は従来のコン クリートブロック工法(Case\_A)と提案工法(Case\_B, Case\_C, Case\_D)の計 4 ケース実施し

28

た。なお、Case\_B および Case\_C においてはジオグリッド周辺部あ るいは曲管背面部の埋戻しに砕石 を用いた。

図-3に、実験終了掘削後の模型 管路の写真を示す。白色のフレー ムは加振前における曲管の初期位 置を表している。図-3より、コン クリートブロックが大きく移動し、 隣接管との間に大きな隙間が生じ ていることが確認できる。隣接管 との曲げ角度は両側で 10°以上 発生しており極めて大きい。 Case-B では曲管部の絶対変位量 は大きいものの、Case-A と比べる と隣接管との間の相対変位量は小 さいことがわかる。一方、Case-C および Case-D では曲管部と隣接 管の相対変位はほとんど発生して おらず、管路としての機能を保持 できることがわかった。

## 

提案工法のスラ スト防護としての 基本機能の確認と 抵抗メカニズムの 検討を行うために、 図-4 に示すよう な静的水平載荷模 型実験は模型管を 埋設後,1mm/分の 速度で水平方向に 載荷するものであ る.図-5 に実験ケ



図−2 振動実験断面図



図-3 実験終了掘削後の管路の移動状況



UN IT : mm

図-4 水平載荷模型実験断面





ースを示す。Case\_a は対策工が無い場合、
Case\_b は矩形断面を有するコンクリー
トブロックを模擬した場合、さらに
Case\_c, d, e は提案するスラスト対策工
法を模擬した場合である。図-6 に水平変
位と水平抵抗力の関係を示す。図-6 より、
当提案工法を用いた Case\_c, d, e の水平
抵抗力は無対策の Case a あるいはコン



クリートブロック模擬の Case\_b よりも大きく、ピーク抵抗力で比較すると、それぞれ 1.7 倍および 1.25 倍増加することがわかった。これにより当提案工法がスラスト防護工法としての基本的な性能を十分に満たすことが明らかとなった。

図-7 は模型実験における防護部上部の地表面画像である。埋設深(H)がジオグリッドの延長(L) に対して比較的大きい図-7(a)の写真より、地表面は地盤中の曲管と同様の変位を示していること がわかる。一方で図-7(b)より埋設深がジオグリッドの延長に対して大きい場合、曲管の変位方向 への地表面の移動は確認できない。防護形状および埋設深を変えた多くの模型実験から地表面地 盤の挙動を検討した結果、H/L≥0.6の場合、防護部上層地盤が三次元的に一体化し、H/L<0.6の 場合では内部でせん断されるということがわかった。

管底部あるいは防護内部のせん断状況をさらに詳細に検討するために、当工法を2次元でモデ ル化した個別要素法による数値解析(以下 DEM 解析)を実施した。図-8 に管の水平変位 4mm 時における周辺地盤粒子の変位状況を示す。地表付近の粒子変位は図-7(a)で示したように大きな 変位を示し、一体的に変位している様子がわかる。また、管とプレートで挟まれた領域の粒子変 位は、下部粒子に対して大きな変位を示し

ていることから、防護内部底面でせん断さ れていることが明らかとなった。

4. 破壊面のモデル化と付加抵抗力算定式 <sup>5) 6)</sup>

水平載荷模型実験における地表面挙動お よび DEM による防護内部のせん断状況か ら判断して、当提案工法のアンカー効果に より発生する地盤の破壊想定面を図-9 の ように仮定した。図-9 の破壊想定面の各面 に働く力のつり合いから、アンカープレー トに作用する水平力すなわち、当工法によ る付加抵抗力を以下のような式で表わした。  $H/L \leq 0.6$ の場合、

$$T_{\rm a.max} = W \tan \phi' + \left(\frac{L}{3}A_1 + \frac{B_a}{2}A_2\right)\gamma_{\rm t}H^2$$
 (1)

$$A_{1} = \frac{2}{\cos\beta} \left( K_{0} \cos^{2}\beta + \sin^{2}\beta \right) (1 - \sin\beta) \tan\phi'$$
$$+ \frac{1}{\cos\alpha} K_{0} \left( \cos\alpha \tan\phi' - \sin\alpha \right) + K_{a} \tan\alpha$$

$$A_2 = K_p - K_a$$

ここで、Wは土塊の重量、 $B_a$ はアンカー プレートの幅、 $\alpha$ ,  $\beta$ は破壊形状の角度 ( $\alpha$ =45°- $\phi'/2$ , tan $\beta$ =Ltan $\alpha$ /H)、 $K_p$ はランキン の受働土圧係数、 $K_a$ はランキンの主働土圧 係数である。さらに、H/L > 0.6の場合、

 $T_{\rm a.max} = bLB_{\rm a}\gamma_{\rm t}(2H+D)\tan\phi' \qquad (2)$ 

ここで、*b* は防護部の上面および底面に 作用する垂直土圧の割増係数である。



図-8 周辺地盤の変位







式(1)および(2)は付加抵抗力の最大値を予測する式であり、最大抵抗力を発揮する時には曲管部は大きく変位しているものと考えられる。さらに、管の変位に伴うジオグリッドの変形は付加抵

抗力に大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで、ジオグリッドの伸び特性を考慮した曲管 の変位と付加抵抗力の関係式を導出した。図-10 に示すように、本提案工法による付加抵抗力を ジオグリッドの引抜き抵抗力とアンカープレートに発生する受働抵抗力と考えた。ただし管の移 動に伴い、ジオグリッド前部(曲管との接続側)から順に引抜きが発生し、ジオグリッド後端部 まで引抜きが完了した段階(変位 Y)でアンカープレートに受働抵抗力が発生するものとした。 さらにジオグリッドを弾性体と仮定し、引抜き抵抗力は地盤との相対変位が生じると、直ちに一 定のせん断応力度を発揮するものと仮定した。また、アンカープレートに作用する受働抵抗力と して式(1)および(2)を用いた。

## 5.実規模埋設実験と付加抵抗力 算定式の予測精度の評価<sup>6)7)</sup>

実相当レベルの内圧負荷に対す る曲管部の力学挙動の検討と、当 提案工法の有効性の検証実験とし て、図-11 に示すようなd300mm の模擬管路を用いた実大規模埋設 実験を実施した。図-12 には曲管 水平変位と付加抵抗力の関係を示 す。前章で述べた付加抵抗力算定 式の予測精度を検討するために実 験結果との比較を行った。ジオグ リッドの引張剛性ならびに形状を 変えた3ケースで比較を行ったと ころ、両者の差は実験値に対して ±10%以内であり、変位 15mm と いう口径の 5%変位量にまでおよ ぶ領域まで実験結果を精度よく評



図-11 実規模埋設実験断面図



図-12 実規模埋設実験の曲管水平変位と付加抵抗力の関係

### 価できることが明らかになった。

### 6.背面受働側補強時の水平載荷 実験<sup>8),9)</sup>

5.までに紹介した研究成果は, 曲管部内側にジオグリッドを鉛直 方向に配置し、さらにアンカープ レートを併用してスラスト力に抵 抗するものである。ここでは、図 -1(b)に示したように、内面内側部 分だけでなく、曲管背面受働側地 盤をジオグリッドを用いて一体化 あるいはセメント系固化材により 地盤強度を固め、より大きな受働 土圧を期待した工法の模型実験結果を示 す。

実験概略図を図-13、図-14に示す。ま た、水平抵抗力~変位関係を図-15 に示 す。実験結果より、曲管部全体をジオグ リッドで覆う方法はスラスト防護工法と して有用であることが明らかになった。 さらにグリッド内の埋戻し材料として砕 石や流動化処理土を使用することにより、 極めて大きな水平抵抗が確保できること が明らかになった。

### 7. 現場実証試験<sup>10),11)</sup>

上述の通り、小型模型実験、大型模型 実験、振動台実験ならびに数値解析から のメカニズム解明、設計式の提案などを 経て、パイプラインの弱点を補う軽量ス ラスト防護工法の一連の研究を推進して きた。ここでは、当耐震化工法の施工性 の把握ならびに現場での埋設挙動の照査 を目的として、  $\phi$  800, 56 度鋼板製なら びに  $\phi$  1200, 69 度 FRPM 製の実用管路に て実施した現場実証試験状況を**写真-1,2** 示す。計測結果など詳細は参考文献を参









**写真-1** ♦800, 56 度曲管施工状況



**写真-2** ∮1200,69 度曲管施工状況

照されたい。

### 8. まとめ

本報告では、地震時のウイークポイントとなる農業用水用圧力管路の曲部を対象として、ジオ シンセティックスを活用した軽量スラスト防護工法の研究開発の進展についてその概略を示した。 現在、農業用水路として、100ha以上の圃場を対象とした、いわゆる基幹用水路総延長は4万5000km を超えており、順次改修・耐震向上を図らなければならない状況下にある。また、その他、ダム やため池など農業水利施設構造物の維持管理を背景に、さらなるジオシンセティックス材料の農 林水産分野への適応を鋭意検討し、さらに安全な施設構造物の構築に傾注していきたいと考えて いる。

#### 謝辞

当研究を遂行するに当たって、2005~2007 年度、科学研究補助金、基盤研究(B) 17380143「ジオ シンセティクスを用いた農業用水用パイプラインの耐震工法の研究開発」を用いた。また、長年に 渡って三井化学産資株式会社,大成機工株式会社の絶大なるご支援を頂いた。記して深謝申し上 げます。さらに、貴重な現場を提供頂きました、水資源機構群馬総合用水事業所ならびに北陸農 政局九頭竜川下流農業水利事業所に感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) Mohri, Y., Yasunaka, M. and Tani, S.: Damage to buried pipeline due to liquefaction induced performance at the ground by the Hokkaido-Nansei-oki earthquake in 1993, *Proceedings of First International Conference on earthquake Geotechnical Engineering*, IS-Tokyo, 31-36, 1995.
- 2) 河端俊典,澤田豊,毛利栄征,泉明良,有吉充,平井貴雄,斉藤喜久雄:ジオグリッドを用いた曲管部軽量スラスト防護工法の耐震性の検討,ジオシンセティックス論文集, Vol.23, pp.133-138, 2008.
- 3) 河端俊典,澤田豊,内田一徳,平井貴雄,斉藤喜久雄:ジオグリッドを用いた圧力管路曲管

部スラスト防護工法に関する実験,ジオシンセティックス学会論文集, Vol.19, pp.59-64, 2004.

- 4) 澤田豊,河端俊典,北野知洋,内田一徳,平井貴雄,斉藤喜久雄,ジオグリッドを用いたスラスト防護工法の水平抵抗メカニズムに関する検討,ジオシンセティックス論文集, Vol.20, pp.217-222, 2005.
- 5) 澤田豊,河端俊典,毛利栄征,内田一徳:ジオグリッドを用いた圧力管スラスト防護工法の 増加抵抗力算定手法,ジオシンセティックス論文集, Vol.21, pp.97-104, 2006.
- (7) 澤田豊,河端俊典,毛利栄征,内田一徳:ジオグリッドの伸び特性を考慮した圧力管曲部軽量スラスト防護工法の水平抵抗力算定手法,ジオシンセティックス論文集,Vol.22, pp.253-258,2007.
- 河端俊典,澤田豊,大串賢,戸継昭人,弘中淳市,毛利栄征,内田一徳:ジオグリッドを用いた圧力管スラスト防護工法の実規模実験,ジオシンセティックス論文集,Vol.21, pp.105-110,2006.
- 8) 奥野哲史,河端俊典,木本茉那,柏木歩:砕石を用いた曲管部スラスト防護工法の水平載荷 試験,H22年度農業農村工学会京都支部第67回研究発表会講演要旨集,pp.3.17-18,2010
- 河端俊典,柏木歩,毛利栄征,奥野哲史:補強流動化処理土を用いたパイプラインのスラスト防護工法に関する水平載荷模型実験,ジオシンセティックス論文集,Vol.24, pp.171-176,2009.
- 10) Kawabata, T., Sawada, Y., Izumi, A., Kashiwagi, A., Hanazawa, T., Okuno, S. and Suzuki, M. : Field verification test for buried bend with lightweight thrust restraint using geogrid, Proc. of IGS, Grajua, Brazil, 2010.
- 11) 川島秀樹, 美濃谷茂次, 柳浦光男, 河端俊典, 毛利栄征, 上野和広, 岩崎善之: 流動化処理土 を用いた軽量曲管スラスト対策工の現場実証実験, H23 年度農業農村工学会大会講演会要旨 集, 2011.(投稿中)