第68回(2024年度) 北海道開発技術研究発表会論文

# 軟弱地盤上のボックスカルバートの基礎地盤対策 ―新たな基礎地盤補強対策工法の適用について―

釧路開発建設部 釧路道路事務所 第3工務課 ○問谷 怜志 鶴谷 孝一

株式会社ドーコン 環境事業本部 地質部

北海道横断自動車道阿寒IC~釧路西IC間(L=17km)は、全区間の約75%が泥炭性軟弱地盤上 の盛土区間で、ボックスカルバートが多数計画された。なお、平成21年度指針改訂に伴い、従 来の基礎地盤対策であるプレロード工法では支持力不足、固結工法では工費が増大し建設コス ト縮減が課題となった。

本論文は、この課題解決策として適用した新たな基礎地盤対策工に関して、適用に至るまで のフィールド試験や本施工での動態観測結果、また、長期的な動態観測結果について報告する。

キーワード:軟弱地盤、新工法、沈下・支持力対策、ボックスカルバート

## 1. はじめに

北海道横断自動車道「阿寒IC~釧路西IC間 L=17km」 は、釧路市阿寒町下舌辛から釧路市市街地近郊を結ぶ高 速自動車国道で、令和6年12月22日に開通した。当該道 路は、平野部(阿寒IC~舌辛大橋間および山花大橋~釧 路西IC間)と丘陵地(舌辛大橋~山花大橋間)を通過す る路線で、全区間の約75%が平野部における泥炭性軟弱 地盤上の盛土区間となっている(図-1)。

平野部の地盤は、表層から泥炭層(層厚1~3m程 度)・中間砂層(層厚5~10m程度)・シルト質粘性土 層(層厚10~25m程度)が分布する層厚15~40m程度の



北海道横断自動車道「阿寒 IC~釧路西 IC 間」 釧路西 IC~釧路東 IC 間

TONYA Reishi, TSURUYA Kohichi, HARA Yasushi

泥炭性軟弱地盤が広範囲に形成されている。

このような軟弱地盤上にボックスカルバートを施工す る場合、従来は、沈下・支持力対策としてプレロード工 法によって圧密沈下を促進させ、強度増加による十分な 地盤強度を確保した後、躯体を構築する方法が多く用い られてきた。

原

靖

しかし、平成21年度に「道路土工-カルバート工指 針|が改訂され、ボックスカルバートを施工する際の地 盤の許容鉛直支持力度は、カルバート底面地盤の極限支 持力の1/3(=常時安全率3)を満足させることが必要と なった。これにより、プレロード工法のみでは地盤の支 持力を確保できないという問題が生じるようになった。 この問題を解決する方法として、一般的にはカルバー ト底面下の軟弱な基礎地盤をセメント系固化材によっ て地盤改良する固結工法の適用が考えられる。

当該路線の平野部の盛土区間では、29基のボックス カルバートが計画され、軟弱層が厚く分布する地盤条 件のため、基礎地盤対策に固結工法を適用した場合、 工費が大幅に増大し、建設コスト縮減が課題となった。

そこで、この課題解決策として、沈下対策としてプ レロード工法により軟弱地盤の沈下収束および強度増 加させた後、さらに支持力対策として、中詰材(砕 石・砂利)の巻き込みジオグリッド(合成樹脂製の補 強材)をカルバート底面下に敷設する新たな基礎地盤 対策工である「巻き込みジオグリッドカルバート基礎 補強工法」を本線へ適用することになった。

本論文は、この新工法に関して、本線適用に至るま でに実施したフィールド試験りや本施工での動態観測結 果2、また、その対策効果について報告するものである。

# 2. 巻き込みジオグリッドカルバート基礎補強工法 の概要

「巻き込みジオグリッドカルバート基礎補強工法」 (以下、カルバート基礎補強工法と称す)とは、基礎地 盤の支持力改善を目的としたマットレス工法<sup>349</sup>を応用し たものであり、軟弱地盤に中詰材(砕石・砂利)と高強 度の補強材(ジオグリッド)を用いて立体的かつ盤状に 形成した合成部材(基礎補強体)を敷設することで、上 載構造物の荷重分散幅を拡げるとともに、せん断抵抗を 増加させることで支持力対策を行う工法である(図-2)。

なお、従来のマットレス工法よりも基礎補強体の敷設 幅を構造物の断面方向に張り出させることで、より荷重 分散効果を期待するものである。図-3は、マットレス工 法による荷重分散の考え方である。B, H, q, p は図中 に示すとおりである。また、S は中詰材のせん断抵抗力、 Tb は補強材の引張り強さ、 $\theta$  は補強材の許容伸びに対 する変位角、 $\psi$ は荷重分散角を示している。



# 3. フィールド試験

# (1) 試験概要

本工法を当該路線の軟弱地盤上に施工するボックスカ ルバートの基礎地盤対策工として適用に至る過程で、対 策効果を確認し、適用の可否を判定することを目的に、 フィールド試験を実施した。

このフィールド試験は、プレロード盛土による沈下の 収束が完了した箇所で実施し、表-1にその地盤特性を示 した。また、試験は中詰材とジオグリッドで構成される

表−    試験施工固所の地盤特性(ノレロート則)
---------------------------

					コーン 曲		プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
地下 水位	土層名	土層 記号	深度	層厚	貫入 抵抗値 (素地)	一位 体積 重量	粘着力	- せん断 抵抗角	粘着力	せん断 抵抗角
GL-			Z	h	qc	γt	С	φ	С	φ
			(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(°)
- 0.9m										
	粘性土	Ac1	4.40	4.40	700	17.0	35	0	67	0
	砂礫	Ksg1	6.10	1.70	-	20.0	0	40	0	40
	砂質土	Ks5	7.00	0.90	-	19.0	0	40	0	40

TONYA Reishi, TSURUYA Kohichi, HARA Yasushi

基礎補強体幅を荷重分散効果がより得られることを期待 して、従来のマットレス工法の考え方を基にした荷重分 散角 $\psi$ =45°の範囲の幅よりも拡げ、基礎補強体の張出幅 を図-4、表-2に示すように載荷幅 B/2の2倍 (ケース1:張 出幅2倍)、載荷幅 B/2の3倍 (ケース2:張出幅3倍) の2ケ ースで実施した。

写真-1にフィールド試験状況、図-5にフィールド試験 の平面図・断面図(ケース1)を示した。これらに示す ように、上載荷重はボックスカルバートの躯体の代わり に大型土のうを使用した。試験では、基礎補強体を敷設 することによる対策効果や基礎補強体の挙動を確認する ことを目的に、土圧計による基礎補強体の上面と下面に 作用する鉛直土圧の計測、ひずみ計による基礎補強体の 下面のジオグリッドのひずみ計測、沈下板による沈下量 の計測を行った。



計除ケーフ	基礎補強体						
武殿ワーへ	奥行き	厚さ	張出幅				
ケース1	2.0	0.4	B/2の2.0倍				
ケース2	2.0M	0.4M	B/2の3.0倍				



写真-1 フィールド試験状況



#### (2) 試験結果

フィールド試験結果の内、以下に、土圧計測結果について報告する。

図-6は基礎補強体の上面および下面に設置した土圧計の上載荷重載荷後の各ケースにおける計測結果を示したものである。ケース1(張出幅2倍)では、上面土圧82.5kN/m<sup>2</sup>に対して下面土圧は40.9kN/m<sup>2</sup>となり、基礎地盤に作用する荷重の低減率は約50%となっていることが分かる。また、同様にケース2(張出幅3倍)では、上面土圧100.7kN/m<sup>2</sup>に対して下面土圧は42.1kN/m<sup>2</sup>となり、基礎地盤に作用する荷重の低減率は約60%となっている。

さらに、この土圧計測結果を基に、各ケースにおける 荷重分散角 $\psi$ について、土圧計測で得られた上面土圧と 下面土圧に合致する荷重分散角 $\psi$ をマットレス工法の設 計式<sup>3,4</sup>より算出した結果、ケース1(張出幅2倍)では荷重 分散角 $\psi$ =60°、ケース2(張出幅3倍)では荷重分散角  $\psi$ =70°が得られた。

これより、本工法は、中詰材とジオグリッドで構成される基礎補強体が盤状の一体化した合成部材となることで、通常の土の荷重分散角 y=30~45°よりも大きな荷重分散効果が得られることが明らかとなり、このフィールド試験から得られた対策効果の有用性に基づき、本工法を本線へ適用するに至った。



#### 4. 本施工での動態観測

#### (1) 動態観測概要

前章のフィールド試験結果を踏まえ、当該路線の軟弱 地盤上に施工するボックスカルバートの基礎地盤対策工 として本工法(一般的な固結工法と比較して5~6割程度 のコスト縮減)を本線へ適用することになった。

本施工に際しては、実施工での対策効果等の確認を目 的として、No.2道路ボックスカルバート箇所(張出幅3 倍)、No.24道路ボックスカルバート箇所(張出幅2倍)に おいて、フィールド試験と同様な土圧・ひずみ・沈下計 測による動態観測を実施した。

表-3にNo.2道路ボックスカルバート箇所、表-4にNo.24 道路ボックスカルバート箇所の地盤特性を示した。

また、**写真-2、写真-3**に各ボックスカルバート施工後 の全景(令和6年11月撮影)を示した。

TONYA Reishi, TSURUYA Kohichi, HARA Yasushi

#### 表-3 No.2 道路 BOX 箇所の地盤特性(プレロード前後)

		土層記号	深度	層厚	単位 体積 重量	プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
地下 水位	土層名					粘着力	せん断 抵抗角	粘着力	せん断 抵抗角
GL-			Z	h	γt	С	φ	С	φ
$\nabla$			(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m²)	(°)	(kN/m²)	(°)
- 0.0m									
	粘性土	Ac1-U	3.00	3.00	15.5	19.5	0	56.0	0
	粘性土	Ac1-L	5.60	2.60	16.5	27.9	0	56.0	0
	砂質土	As1	6.00	0.40	17.0	0	30	0	30

表-4 No. 24 道路 BOX 箇所の地盤特性(プレロード前後)

			深度	層厚	単位 体積 重量	プレロード前 (素地)		<ul><li>プレロード後</li><li>(強度増加後)</li></ul>	
地下 水位	土層名	土層 記号				粘着力	せん断 抵抗角	粘着力	せん断 抵抗角
GL-			Z	h	γt	С	φ	С	φ
			(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m²)	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(°)
И	泥炭	Ap1-2	2.70	2.70	11.0	25.0	0	36.0	0
- 2.7m	粘性土	Ac1-4	4.20	1.50	15.5	30.0	0	61.0	0
	砂質土	As1	6.70	2.50	17.0	0	30	0	30
	粘性土	Ac1-4	7.70	1.00	15.5	40.0	0	69.0	0
	砂質土	As1	14.20	6.50	18.0	0	34	0	34



写真-2 ボックスカルバート施工後の全景(No.2 道路 BOX)



写真-3 ボックスカルバート施工後の全景 (No. 24 道路 BOX)

#### (2) 動態観測結果

本施工での動態観測結果の内、以下に、土圧計測結果 について報告する。

図-7にNo.2道路ボックスカルバート箇所(張出幅3倍)、 図-8にNo.24道路ボックスカルバート箇所(張出幅2倍)の 土圧計測結果を示した。No.2道路ボックスカルバート箇 所(張出幅3倍)では、上載荷重63.3 kPaに対して、基礎地 盤に作用する土圧は23.3 kPaと上載荷重よりも約63%低 減された値を示し、フィールド試験で得られた低減率 60%と同等の効果があることが分かった。また、同様に No.24道路ボックスカルバート箇所(張出幅2倍)では、上 載荷重58.7 kPaに対して、基礎地盤に作用する土圧(平均 値)は29.66 kPaと上載荷重よりも約50%低減された値を 示し、フィールド試験における低減率50%と同等の効果 が得られた。

これより、本施工においても本工法を適用することで、 基礎補強体の底面下の基礎地盤に作用する荷重を低減さ せる効果(荷重分散効果)が得られ、中詰材(砕石・砂 利)の巻き込みジオグリッドによる本工法の有効性が実 証された。



図-7 断面方向の土圧計測結果(No.2 道路 BOX 箇所)



TONYA Reishi, TSURUYA Kohichi, HARA Yasushi

## 5. 長期的な動態観測

#### (1) 動態観測概要

本工法を適用して施工したボックスカルバート箇所で は、本工法は新工法であること、また、沈下対策には従 来のプレロード工法を併用し、10cm程度の残留沈下量 を許容する対策であることを鑑みて、長期的な安全性の 確認を目的に、躯体の構築完了後より、①躯体の計測 (目地開きの計測、躯体の沈下計測)、②目視による躯 体状況の確認等による動態観測を継続的に実施した。

この内、躯体の計測については、ボックスカルバートの側壁部に計測ポイントを設置し、定点観測を行った (写真-4、写真-5)。また、図-9にNo.2道路ボックスカ

ルバート箇所、図-10にNo.24道路ボックスカルバート箇所、図-10にNo.24道路ボックスカルバート箇所における計測ポイントの平面図を示した。



写真-4 計測ポイント設置状況



写真-5 計測状況(左:目地開き、右:躯体の沈下)



図-9 計測ポイント箇所平面図(No.2道路 BOX 箇所)



図-10 計測ポイント箇所平面図 (No. 24 道路 BOX 箇所)

#### (2) 動態観測結果

長期的な安全性の確認を目的とした動態観測結果について、以下に報告する。

図-11にNo.2道路ボックスカルバート箇所(張出幅3倍)、 図-12にNo.24道路ボックスカルバート箇所(張出幅2倍) の躯体の沈下計測結果を示した。両者とも、起・終点の L側・CL・R側で計測している各計測ポイントの沈下量に 大きな差違はなく、躯体に不同沈下は発生していないこ とを確認できた。残留沈下による沈下進行も現時点では、 殆どないものと判断できる。

また、目地開きの計測(写真-6)や目視による躯体状況の確認(写真-7)により、目地部からの盛土材流出や 躯体壁面のクラック発生等の変状も認められず、本工法 を適用したボックスカルバートの躯体の安全性に問題は なく、健全な状態であることを確認した。

これより、本工法は長期的な安全性を保持する有効な 対策工であるといえる。また、カルバート底面下に敷設 する中詰材とジオグリッドで構成される基礎補強体が、 盤状で一体化した構造のため、将来的な不同沈下の発生 防止にも有用であるといえる。





TONYA Reishi, TSURUYA Kohichi, HARA Yasushi



写真-6 目地開きの計測(No. 24 道路 BOX 箇所: 目地 E①\_2019 年→2024 年の経年変化)





写真-7 目視による躯体状況の確認(No. 24 道路 BOX 箇所:起点側\_2019 年→2024 年の経年変化)

## 6. まとめ

前述までのフィールド試験、本施工での動態観測、長 期的な動態観測の結果より得られた本工法の知見や対策 効果をまとめると以下のとおりである。

- フィールド試験および本施工での動態観測結果より、 載荷端部からの張出幅を載荷幅 B/2の2倍(張出幅2 倍)、3倍(張出幅3倍)を確保した中詰材(砕石・砂 利)とジオグリッドで構成される基礎補強体を構築す ることで、基礎地盤に作用する荷重を低減させる効果 が明らかとなった。
- 2) 上記1)の基礎地盤に作用する荷重は、「張出幅2倍で は上載荷重の約50%」,「張出幅3倍では上載荷重の約 60%」、それぞれ低減することが明らかとなった。こ のことから、本工法は、中詰材の巻き込みジオグリッ ドによる基礎補強体が盤状の一体化した合成部材とな ることで、通常の土の荷重分散角 y=30~45°よりも大 きな荷重分散効果(張出幅2倍での荷重分散角 y=60°, 張出幅3倍での荷重分散角 y=70°)が得られると考え られる。
- 3)長期的な動態観測結果より、本工法は長期的な安全性 を保持する有効な対策工であるといえる。また、カル バート底面下に敷設する中詰材とジオグリッドで構成 される基礎補強体が、盤状で一体化した構造のため、 将来的な不同沈下の発生防止にも有用であるといえる。

# 7. おわりに

「巻き込みジオグリッドカルバート基礎補強工法」は、 軟弱地盤上にボックスカルバートを施工する際の建設コ スト縮減に寄与する基礎地盤対策として有用な工法とい える。また、本報告が今後、軟弱地盤上のボックスカル バートを施工する際の設計・施工の一助となれば幸いで ある。

## 謝辞

最後に、フィールド試験、本施工での動態観測、長期 的な動態観測を実施するにあたり、ご指導を頂きました 室蘭工業大学大学院木幡行宏教授、寒地土木研究所、な らびに、動態観測に際してご協力頂きました施工業者と、 計器設置に際してご協力頂きました巻き込みジオグリッ ドカルバート基礎補強工法研究会の関係各位に深く感謝 の意を表します。

#### 参考文献

- 富田直樹、谷野淳、片井浩太:ボックスカルバートの 基礎地盤対策について-カルバート基礎補強工法の施 工-、第60回北海道開発技術研究発表会概要集,2017.2
- 2)田伏雅也,結城哲哉,田中正善:ボックスカルバートの基礎地盤対策について-カルバート基礎補強工法の施工結果-,第61回北海道開発技術研究発表会概要集,2018.2
- 3) ジオグリッド研究会:「ジオグリッド工法」ガイドラ イン(第1分冊) - 材料試験法,設計法ガイドライン - , pp.219-228, 1990.7
- 4) 社団法人地盤工学会:地盤補強技術の新しい適用ー他 工法との併用技術ー, pp.60-69, 2006.9