

技術報文

中詰材(砕石・砂利)の巻き込みジオグリッドによる ボックスカルバート基礎地盤の補強対策工法

(株)ドーコン 環境事業本部 地質部	原 靖
室蘭工業大学大学院	木幡 行宏
宮坂建設工業(株)	林 啓二
(株)ドーコン 環境事業本部 地質部	島崎 将司

1. はじめに

北海道の平野部には広域にわたって軟弱な泥炭および粘性土層で形成された泥炭性軟弱地盤が分布しているが、ボックスカルバートを軟弱地盤上に施工する場合、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用いられてきた。

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。この課題を解決する方法として、ボックスカルバート施工箇所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方法(固結工法)が考えられるが、路線上に多くのボックスカルバートを有する場合や軟弱層が厚く分布する場合には、工費が大幅に高額となり経済的ではない。

そこで、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による浅層地盤改良を行う新たなボックスカルバートの基礎地盤補強対策工法を開発した結果、北海道横断自動車道「阿寒IC～釧路西IC間」において本施工として適用されるに至った。

本報文は、このボックスカルバート基礎地盤補強対策工法に関して、上述の「阿寒IC～釧路西IC間」の本線適用に至るまでに実施したフィールド試験結果¹⁾や本施工での動態観測結果²⁾、また、その対策効果確認のために実施した室内模型実験結果^{3),4)}について報告するものである。

2. 工法の概要

中詰材(砕石・砂利)の巻き込みジオグリッドによるボックスカルバート基礎地盤補強対策工法とは、基礎地盤の支持力改善を目的としたマットレス工法^{5),6)}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広げるとともに、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。なお、従来のマットレス工法よりも基礎補強

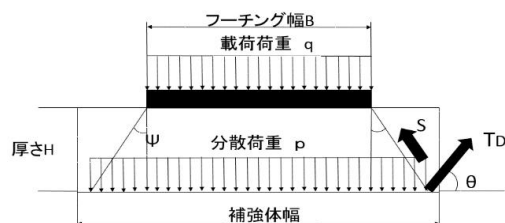


図-1 マットレス工法の荷重分散の考え方

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-1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は図中に示す通りである。また、Sは中詰材のせん断抵抗力、 T_D は補強材の引張力、 θ は補強材の許容伸びに対する変位角、 ψ は荷重分散角を示している。

表-1 試験施工箇所の地盤特性(プレロード前後)

地下水位	土層名	土層記号	深度 Z (m)	層厚 (m)	コーン 貫入 抵抗値 (素地) qc (kN/m ²)	単位 体積 重量 γ_t (kN/m ³)	プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
							粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	せん断 抵抗角 ϕ (°)
GL-										
-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

3. フィールド試験結果

(1) フィールド試験の概要

本工法を前述の「阿寒 IC～釧路西 IC 間」におけるボックスカルバート基礎地盤補強対策工法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収束が完了した箇所で実施し、表-1にその地盤特性を示す。

また、試験は中詰材とジオグリッドで構成される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 $\psi=45^\circ$ の範囲の幅よりも広げ、基礎補強体の張出幅を図-2、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-3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代わりに大型土のうを使用した。

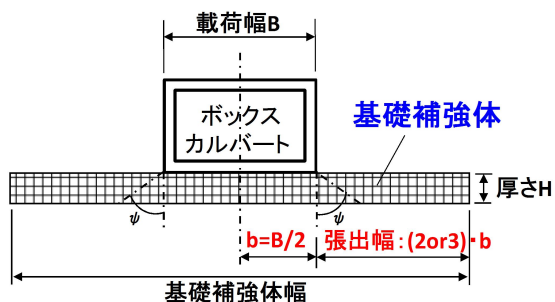


図-2 試験概念モデル断面図



写真-1 フィールド試験状況

表-2 試験ケース

ケース	奥行き	基礎補強体厚	張出幅
ケース1	2.0m	0.4m	B/2の2.0倍
ケース2			B/2の3.0倍

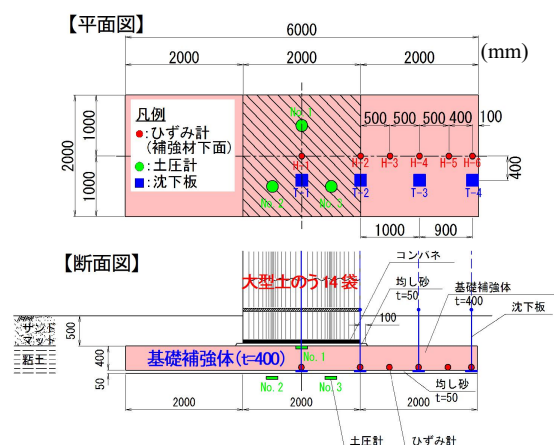


図-3 フィールド試験の平面図・断面図(ケース1)

また、試験では、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、基礎補強体下面のジオグリッドのひずみ計測、沈下板による沈下計測を行った。

なお、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が重要なポイントとなる。すなわち、本工法では鉛直荷重が作用すると同時に、ジオグリッドに引張応力が作用することが重要である。したがって、施工時に中詰材をジオグリッドで包む際にたるみや緩みが生じないようにジオグリッドを敷設する必要がある。予備試験では、ジオグリッドを敷設後、中詰材を巻き出し、その後、中詰材の側部と上部をジオグリッドで包むように敷設したが、ジオグリッドにたるみや緩みが生じてしまった。この状態で予備試験を実施したところ、不同沈下の発生や基礎地盤に作用する荷重の低減効果や荷重分散効果が見られなかった。これは、施工時のジオグリッドにたるみや緩みに起因して、鉛直荷重が作用すると同時に、ジオグリッドに引張応力が作用せず、基礎補強体が盤状の一体化した合成部材とはならなかったためであると考えられた。そこで、

本工法では写真-2に示すような治具を新たに開発し、施工時にジオグリッドに緊張力を与えて敷設する方法を考えた。写真-3の施工状況に示すように、この治具を用いると、ジオグリッドにたるみや緩みやが生じないようにジオグリッドを敷設することが可能となり、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して施工することが可能となった。以下に述べるフィールド試験の結果および本施工での動体観測結果は、新たに開発した治具によりジオグリッドを敷設して施工した基礎補強体に対する結果である。

(2) フィールド試験の結果

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。

基礎補強体上面および下面に設置した土圧計の各ケースにおける上載荷重載荷後の計測結果を図-4に示す。ケース1(張出幅2倍)では、上面土圧 82.5 kN/m²に対して下面土圧は 40.9 kN/m²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 100.7 kN/m²に対して下面土圧は 42.1 kN/m²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

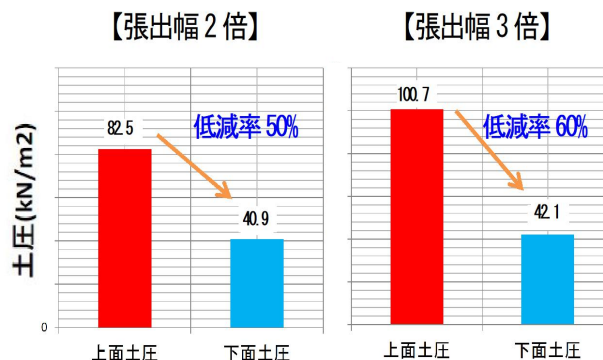


図-4 土圧の低減率



写真-2 緊張用の専用金具



写真-3 ジオグリッド敷設時の緊張状況 (緩み除去)

表-3 A BOX 箇所の地盤特性

地下水位	土層名	土層記号	深度 Z (m)	層厚 h (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
						粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)
GL-									
-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 B BOX 箇所の地盤特性

地下水位	土層名	土層記号	深度 Z (m)	層厚 h (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	プレロード前 (素地)		プレロード後 (強度増加後)	
						粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)
GL-									
-2.7m	泥炭	Ap1-2	2.70	2.70	11.0	25.0	0	36.0	-
	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

スにおける荷重分散角 ψ 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 ψ をマツレス工法の設計式^{5),6)}より算出した結果、ケース 1 (張出幅 2 倍) では荷重分散角 $\psi=60^\circ$ 、ケース 2 (張出幅 3 倍) では荷重分散角 $\psi=70^\circ$ 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 $\psi=30\sim 45^\circ$ 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、本施工への適用に至ることとなった。

4. 本施工での動態観測結果

(1) 動態観測の概要

前章のフィールド試験結果を踏まえ、「阿寒 IC～釧路西 IC 間」において軟弱地盤に設置するボックスカルバートの基礎地盤補強対策工法として適用することとなり、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、A ボックスカルバート箇所 (張出幅 3 倍)、B 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・沈下計測等の動態観測を実施している。

表-3 に A ボックスカルバート箇所、表-4 に B ボックスカルバート箇所の地盤特性を示した。

(2) 動態観測の結果

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-5 に A ボックスカルバート箇所 (張出幅 3 倍)、図-6 に

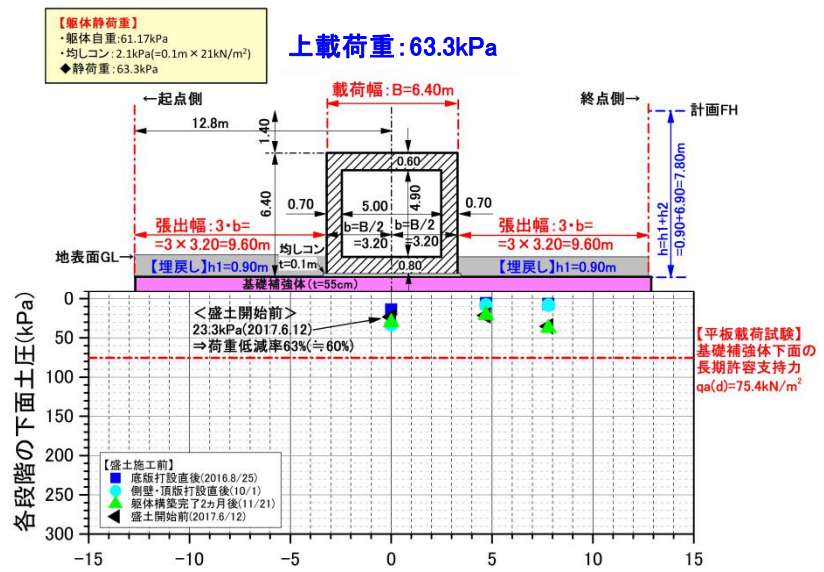


図-5 断面方向の土圧計測結果 (A BOX 箇所)

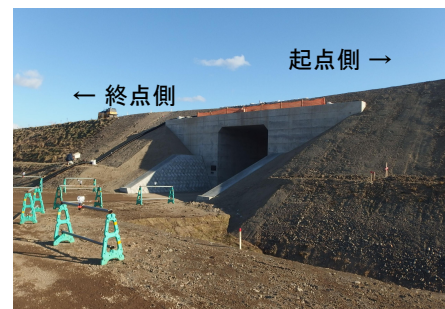


写真-4 A BOX 箇所全景

B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(写真-4,5は各躯体構築後の状況)。Aボックスカルバート箇所(張出幅3倍)では、上載荷重63.3kPaに対して、基礎地盤に作用する土圧は23.3kPa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。同様にBボックスカルバート箇所(張出幅2倍)では、上載荷重58.7kPaに対して、基礎地盤に作用する土圧は29.66kPa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(碎石・砂利)の巻き込みジオグリッドによるボックスカルバート基礎地盤補強対策工法の有効性が明らかとなった。

前述したフィールド試験結果および本施工での動態観測結果より、中詰材(碎石・砂利)の巻き込みジオグリッドによる補強対策効果が明らかにされた。

しかし、原位置試験では条件が限定されるため、適切な基礎補強体幅による本工法の適用性については不明な点も多い。そこで、種々の補強体幅の基礎補強体を用いた室内模型土槽試験を実施することにより、基礎地盤の支持力特性に及ぼす補強体幅の影響等について検討し、本工法の補強対策効果について、さらに検討を行った。

5. 室内模型実験結果

しかし、原位置試験では条件が限定されるため、適切な基礎補強体幅による本工法の適用性については不明な点も多い。そこで、種々の補強体幅の基礎補強体を用いた室内模型土槽試験を実施することにより、基礎地盤の支持力特性に及ぼす補強体幅の影響等について検討し、本工法の補強対策効果について、さらに検討を行った。

しかし、原位置試験では条件が限定されるため、適切な基礎補強体幅による本工法の適用性については不明な点も多い。そこで、種々の補強体幅の基礎補強体を用いた室内模型土槽試験を実施することにより、基礎地盤の支持力特性に及ぼす補強体幅の影響等について検討し、本工法の補強対策効果について、さらに検討を行った。

(1) 試験試料および試験方法

実験試料には、模型地盤に硅砂5号を、補強体の中詰材に粒度調整碎石M-30を使用した。本実験では模型土槽寸法の制約から、最大粒径が9.52mmとなるように、相似比1/4として相似粒度で調整した試料を用いた。また、補強体のジオグリッドには、室内実験を行う際に実物の高強度ジオグリッドを使用するとスケール効果により過大な強度を発現するため、ポリエチレン製の網目状の防虫ネットを用いた。補強体は、厚さを30mm、奥行きを200mmとし、フーチング幅B(=50mm)に対して2.0, 2.2, 2.5, 3倍(=100, 110, 125, 150mm)として作製した。実験に用いた模型土槽は、H=400mm, W=700mm, D=200mmの直方体である。均一な模型地盤を

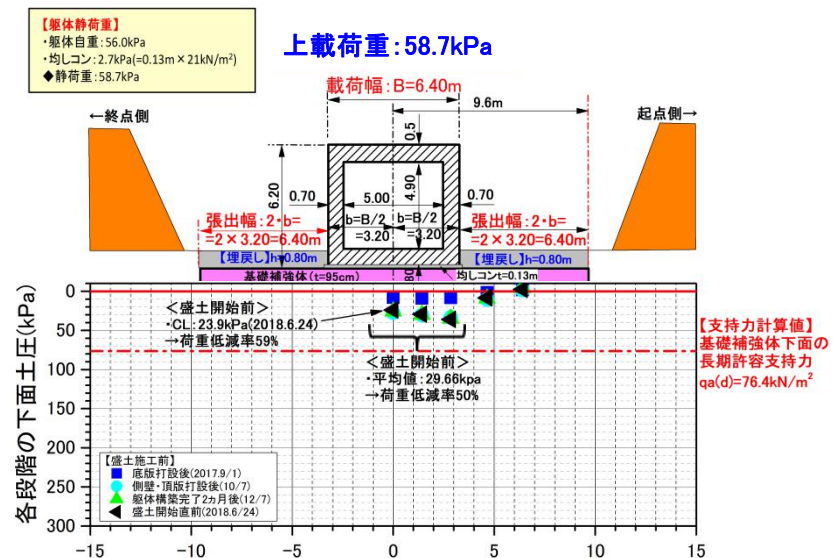


図-6 断面方向の土圧計測結果(B BOX 箇所)



写真-5 B BOX 箇所全景

作製するために、3層に分け、珪砂5号を上載荷式パイプレータによる振動締固めを各層に対して行い、締固め時間を変えることにより相対密度を調整し、相対密度75%、80%、85%の模型地盤を作製した。

試験方法は、模型地盤作製後にロードセルの下に設置した幅50mm、奥行き180mm、厚さ50mmのフーチングの下に補強体を敷設し、単調載荷試験（載荷速度0.36mm/min）を行い模型地盤の変形・支持力特性を比較検討した。図-7に試験装置の概略図を示す。

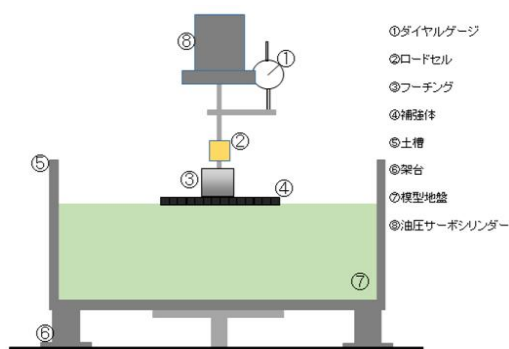


図-7 試験装置の概略図

(2) 試験結果と考察

図-8は、相対密度Dr=85%および75%における各補強体幅のフーチング中央の鉛直変位～鉛直荷重関係である。補強体幅の増加とともにピーク時の鉛直荷重が増加し、補強体幅3倍で最大の鉛直荷重を示している。

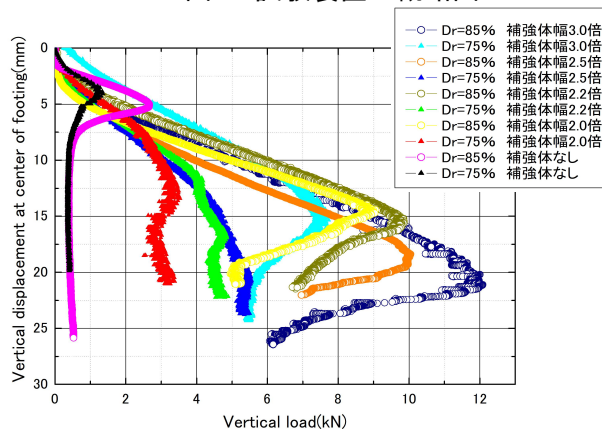


図-8 フーチング中央の鉛直変位～鉛直荷重関係

図-9は、Dr=85%、80%、75%における最大鉛直荷重～補強体幅関係である。全ての相対密度において補強体幅の増加とともに、補強体下面の最大鉛直荷重が増加することが分かる。また、各補強体幅において相対密度が大きいほど、最大鉛直荷重が大きい。

これより、基礎地盤に及ぼす補強体幅の影響は大きいと考えられ、補強体幅を拡げることで支持地盤の剛性が改善されると考えられる。

図-10は、図-9の各補強体幅に対する最大鉛直荷重 P_{max} を補強体なしの最大鉛直荷重 $(P_{max})_{w_0}$ で除した $P_{max}/(P_{max})_{w_0}$ と補強体幅 w をフーチング幅 w_0 で除した w/w_0 の関係である。全ての相対密度の地盤において、 $P_{max}/(P_{max})_{w_0} > w/w_0$ となっていることが分かる。 $P_{max}/(P_{max})_{w_0} \sim w/w_0$ 関係を見ると、Dr=85%の勾配に比べて80%、75%の勾配が大きい。

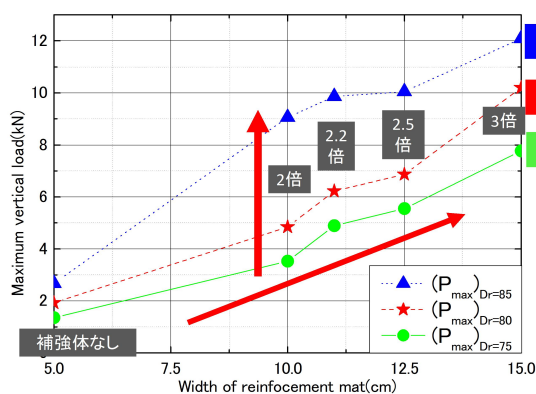


図-9 最大鉛直荷重～補強体幅関係

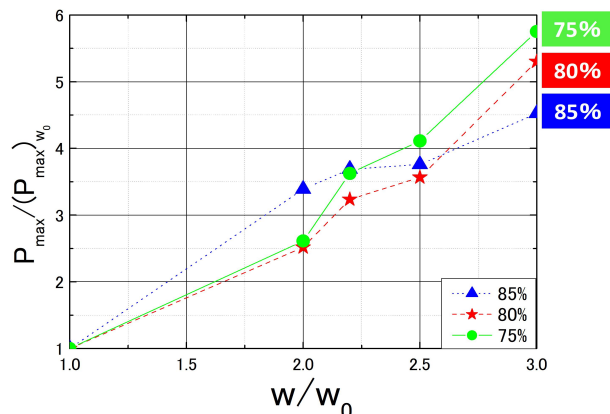


図-10 $P_{max}/(P_{max})_{w_0} \sim w/w_0$ 関係

これより、緩い地盤のほうが補強体による支持地盤の剛性を改善させる効果が大きいと考えられる。

6. まとめ

フィールド試験結果、本施工での動態観測結果、室内模型実験結果より得られた本工法の知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 新たに開発した治具を用いてジオグリッドを敷設・施工した基礎補強体に対す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、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、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 $\psi=30\sim 45^\circ$ よりも大きな荷重分散効果（張出幅2倍での荷重分散角 $\psi=60^\circ$ 、張出幅3倍での荷重分散角 $\psi=70^\circ$ ）が得られると考えられる。
- 3) 室内実験結果からも基礎補強体幅を広げることで支持地盤の剛性が改善される結果が得られ、緩い地盤のほうがよりその効果が大きいと考えられる。

以上より、新たに開発した本工法は、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削減に寄与する支持力対策として有用な工法といえる。

謝 辞

フィールド試験、本施工での動態観測にご協力頂きました北海道開発局 釧路開発建設部および釧路道路事務所の関係各位に深く感謝の意を表します。

なお、室内模型実験の遂行に関して、「巻き込みジオグリッドカルバート基礎補強工法研究会」による助成を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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) 木幡行宏，林啓二，原 靖，松田圭大：室内模型実験によるボックスカルバート基礎補強の支持力特性に及ぼす補強体幅の影響，第60回地盤工学会北海道支部技術報告集，pp.259-262，2020.1
- 4) 木幡行宏：巻き込みジオグリッド補強の支持力特性に及ぼす補強体幅・形状の影響，第55回地盤工学研究発表会講演概要集，p23-9-4-03，2020.7
- 5) 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
- 6) 社団法人地盤工学会：地盤補強技術の新しい適用－他工法との併用技術－， pp.60-69，2006.9