

支持力公式の違いによる砂防堰堤基礎地盤の改良深度の比較

(国研) 土木研究所 ○金澤牧子*1, 高木将行, 伊藤誠記*2
 *1 現: 国土防災技術(株), *2 現: 国土交通省

1 はじめに

砂防堰堤の基礎処理を行う深度は、計算をせずに支持層までとする場合と、改良体底面に作用する地盤支持力と地盤反力を算出し、地盤支持力が上回る深度とする場合がある。筆者が実施した調査では、国土交通省直轄の詳細設計業務報告書(完了年度 H26~R5)のうち、前者は76基、後者は85基であった。さらに、後者のうち、地盤支持力を算出する式は報告書によってさまざまであることがわかった。改良体下層の地盤支持力を算出する式としては、道路橋示方書・同解説¹⁾(以下、道示と呼ぶ)に直接基礎の鉛直支持力として示されている式(1、以下、道示式と呼ぶ)と、建築基準法施行令第93条に関する国土交通省告示第1113号に示されている式(2、以下、建築式と呼ぶ)の2つであった。なお、2つの式の使用割合は6:1程度で、道示式がより広く使用されていた。両式はともに Terzaghi の支持力公式を修正したものである。しかし、支持力係数の算出方法等が異なっていることから、同じ砂防堰堤の条件であっても、改良深度に差が生じると考えられる。改良深度によって適用可能な工法は異なり、経済性にも影響が出ることから、改良深度の設定は重要である。本研究は設計条件による両式の改良深度の差を調査し、両式の改良深度の差が大きくなる条件やその要因を把握することを目的とした。

2 支持力公式の概要

以下に2つの支持力公式を示す。なお、道示式は極限支持力(kN)を極限支持力度(kN/m², 以下 q_uと呼ぶ)に、建築式は許容鉛直支持力度(以下, q_aと呼ぶ)を q_u に修正している。また、道示式による q_u を q_{u1}, 建築式による q_u を q_{u2} としている。両式の右辺の第1項は地盤の粘着力に起因する支持力, 第2項は地盤の自重に起因する支持力, 第3項は根入れによる押さえ効果に起因する支持力である。

$$q_{u1} = \alpha_1 \kappa C N_{c1} S_c + \frac{1}{2} \beta_1 \gamma_1 B_e' N_{\gamma 1} S_\gamma + \kappa \gamma_2 z N_{q1} S_q \quad (1)$$

$$q_{u2} = i_c \alpha_2 C N_{c2} + i_\gamma \beta_2 \gamma_1 B_e' N_{\gamma 2} + i_q \gamma_2 z N_{q2} \dots \dots \quad (2)$$

ここに, N_c, N_γ, N_q: 支持力係数, C: 粘着力(kN/m²), α, β: 形状係数(帯状, α₁=β₁=1, α₂=1, β₂=0.5), γ₁: 改良体下層地盤の単位体積重量(kN/m³), γ₂: 根入れ地盤の単位体積重量(kN/m³), z: 基礎の有効根入れ深さ(m, 以下, 改良深度と呼ぶ), B_e': 改良体底面の有効載荷幅(m), κ: 根入れ効果に対する割増係数(=1とする), S_c, S_γ, S_q: 支持力係数の寸法効果に関する補正係数, i_c, i_γ, i_q: 荷重の傾斜に応じた係数である。支持力係数は、道示式では地盤の内部摩擦角φと荷重の傾斜tanθ(=水平荷重H/鉛直荷重V)の組み合わせで決定される。建築式ではφによって決定し、tanθはi_c, i_γ, i_qによって考慮される。よって、両式の違いに影響を与える要素は支持力係数の算出方法の違いと寸法効果の有無になると考えられる。

3 改良深度の計算方法および計算条件

改良深度は q_a が深さ z における地中での鉛直地盤反力度(kN/m², 以下, σ_zと呼ぶ)を超える深度とし、1m単位で切り上げた値とした。支持力係数の値に影響するφとtanθを変化させ、両式の改良深度の違いを確認した。

両式の q_a は q_u を安全率3で除した値とし、道示式は q_{a1}, 建築式は q_{a2} とした。なお、改良体下層は砂礫地盤を想定し、粘着力Cは0(kN/m²)とした。地盤は地下水以下であると想定し、γ₁, γ₂は10kN/m³とした。また、鉛直方向に同様の地盤が一様に存在しているものと仮定した。φは、道路土工盛土工指針²⁾に示されている砂~礫地盤の30°, 35°, 40°を用いた。tanθは砂防堰堤によってさまざまであることから、本研究で収集した報告書の計画砂防堰堤144基の荷重条件を整理し、tanθが最小値, 中央値, 最大値となったものをモデル堰堤とし、それぞれ堰堤1, 2, 3とした(表1)。なお、表1に示すtanθは改良深度が0mのときの値である。支持力係数の算出に用いるtanθは改良深度ごとに改良体の鉛直荷重を加えて算出した。

次に、σ_zは報告書で最も多用されていた道路土工擁壁土工指針³⁾に示されている式(3), (4)により求めた。

$$\sigma_z = p / (1 + 2(z/B_e) \tan \lambda) + \gamma_3 z \dots \dots \dots (3)$$

$$p = V / B_e \dots \dots \dots (4)$$

ここに, p: 砂防堰堤底面の有効載荷幅における鉛直地盤反力度(kN/m²), B_e: 砂防堰堤底面の有効載荷幅(m, =B-2e), λ: 荷重の分散角(=30°), γ₃: 改良体の単位体積重量(kN/m³), V: 砂防堰堤底面に作用する鉛直荷重(kN/m)である。γ₃は改良前の対象地盤と同じとした⁴⁾。

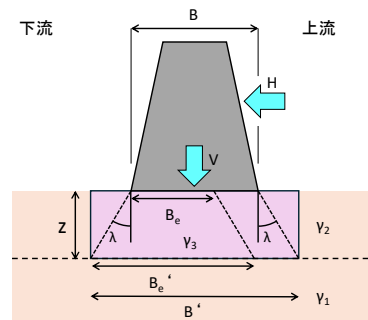


図1 模式図

表1 モデル堰堤の条件

項目	単位	堰堤1	堰堤2	堰堤3
堤底幅	B m	5.80	9.83	11.45
鉛直荷重	V kN/m	830.65	2162.64	2789.65
水平荷重	H kN/m	184.41	933.18	1587.02
荷重の傾斜	tanθ	0.22	0.43	0.57
偏心量	e m	0.26	1.21	1.88
モーメント	M	2620.82	13242.06	21212.08

4 結果

表 2 より、ケース 1 以外の全ケースにおいて、道示式のほうが建築式に比べて改良深度が大きくなった。また、ケース 2, 3, 5 で比較した場合は ϕ が小さいほど、ケース 1, 3, 4 で比較した場合は $\tan \theta$ が大きいほど両式の改良深度の差は大きくなる傾向がみられた。

5 考察

5.1 両式の改良深度の差が大きくなる要因

図 2 にケース別の q_{a2} に対する q_{a1} の割合の深度による変化を示す。0~1 m はケースによりばらつきがみられるが、4 m 以深では全ケースで 0.5 以下となり、ケース毎の割合の差は小さい。このことから、 q_{a1} は q_{a2} に対して小さい傾向にあり、特に 4 m 以深での割合はケースによらずほぼ一定であるといえる。図 3 はケース 1, 3, 4 の σ_z および q_{a1} , q_{a2} を示しており、これによると σ_z は q_{a1} , q_{a2} に比べると深度による変化は小さく、ほぼ横ばいである。よって、両式の改良深度の比もケースによらず一定になり、改良深度が大きくなるケースほど両式の改良深度の差が大きくなったと考えられる。

改良深度が相対的に大きかったケースは、ケース 4, 5 である。他のケースとの違いについてみるため、 q_a の深度による増加量の違いを比較した。表 2 の右側は深度 0~10 m の q_a の増加量を深度 1 m あたりに平均化した値 (kN/m²/m, 以下、支持力増加量と呼ぶ) である。これによると、ケース 4, 5 は、他のケースより支持力増加量が小さいことがわかる。よって、支持力増加量はケース 4, 5 の条件である ϕ が小さいこと、または $\tan \theta$ が大きいことによって小さくなると考えられる。

5.2 両式的支持力の違いに影響する要素

支持力公式を構成する 3 つの項のうち、今回は $C=0$ であるため、第 2 項と第 3 項の和が q_a の値となる。各項の q_a に占める割合は、両式ともに 2~3 m 以深で第 2 項より第 3 項のほうが大きい傾向であった。

また、図 4 にはケース 3 における支持力係数の深度ごとの変化を示しており、第 3 項の両式的支持力係数の差 (N_{q1} と N_{q2} の差) は第 2 項的支持力係数の差 ($N_{\gamma 1}$ と $N_{\gamma 2}$ の差) よりも大きいことがわかる。さらに、道示式では寸法効果の補正係数も考慮することから、この場合的支持力係数 ($N_{q1}S_q$) の値は、改良深度が大きいほど寸法効果が発揮されて小さくなることわかる。以上より、両式的支持力の違いは第 3 項的支持力係数および寸法効果の補正係数の影響が大きかったと考えられる。

5.3 道示式の適用範囲について

道示では、基礎の深さによって適用する支持力公式が異なり、改良深度と基礎短辺幅 (本稿では B' とする) の比が 1/2 以下の場合には直接基礎 (式 (1)), 1/2 より大きい場合は深い基礎の式を適用することとなっている。ここで、道示式におけるケース 4, 5 の改良深度は $z/B' > 1/2$ であった。道示の適用範囲に倣う場合は、ケース 4, 5 では深い基礎的支持力公式より q_a を算出するのが妥当と考えられる。

6 おわりに

本研究では砂防堰堤の基礎工設計でよく使用されている 2 つの支持力公式を対象に改良深度を算出し、その差が大きくなる条件とその要因について調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・特に改良深度が大きい場合、道示式と建築式で改良深度は大きく異なった
- ・道示式と建築式の q_a の違いは、支持力公式第 3 項の支持力係数、並びに寸法効果の補正係数の有無の 2 つの影響が大きい

今後は両式を砂防堰堤の基礎地盤を評価する支持力公式として使用することの妥当性、また支持力公式の適用範囲などについてさらなる検討が必要である。

表 2 ϕ および $\tan \theta$ の違いによる改良深度の差と支持力増加量

ケース	ϕ	モデル堰堤	$\tan \theta$	改良深度			支持力増加量*	
				道示式	建築式	差	道示式	建築式
1	35°	1	0.22	1m	1m	0m	43	120
2	40°	2	0.43	3m	1m	2m	42	158
3	35°	2	0.43	8m	3m	5m	22	73
4	35°	3	0.57	20m	5m	15m	13	54
5	30°	2	0.43	22m	6m	16m	12	37

*単位: kN/m²/m

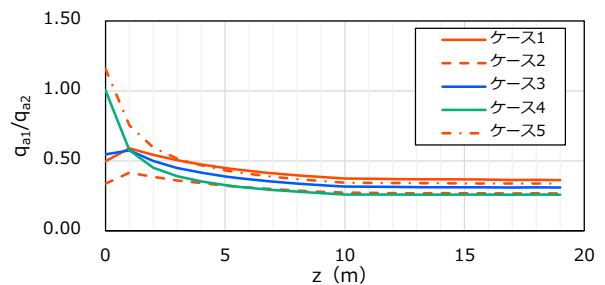


図 2 ケース別 q_{a1}/q_{a2} の深度による変化

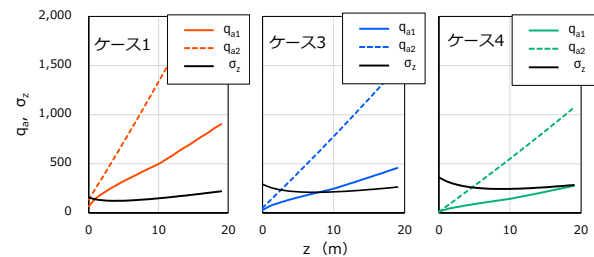


図 3 ケース 1, 3, 4 の q_a と σ_z の関係

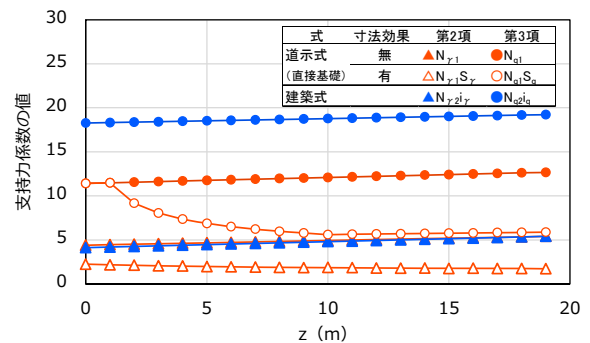


図 4 各支持力係数の値の比較

■参考文献■ 1) 道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成 24 年度版, p.297-306, p.328-332, 2) 道路土工盛土工指針 平成 22 年度版, p.101, 3) 道路土工擁壁工指針 平成 24 年度版, p.135-136, 4) 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版 (2004), p.30, 5) セメント系固化工材による地盤改良マニュアル第 5 版, p.142-144