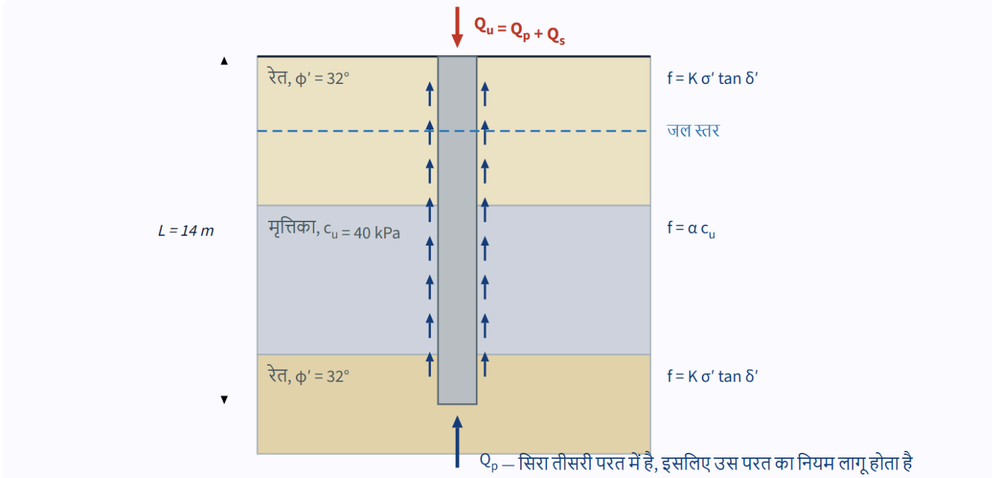
GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · पाइल

स्तरित मृदा में पाइल की धारण क्षमता

व्याख्यान: रेत और मृत्तिका परतों से होकर जाने वाली पाइल की क्षमता। कौन-सा नियम कहाँ लागू होता है, प्रभावी प्रतिबल परतों के साथ कैसे संचित होता है; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

- परत-दर-परत गणना
- सिरा: सिरे की परत
- रेत + मृत्तिका नियम
- बोर की गई पाइल
- हल किए गए उदाहरण



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

प्रभावी प्रतिबल को **परत-दर-परत संचित करना**; यह देखना कि मृत्तिका परत, भले ही उसकी अपनी सामर्थ्य रेत में न जाती हो, अपने भार से नीचे की रेत को कैसे प्रभावित करती है

सिरा धारण केवल उसी परत पर निर्भर करता है जिसमें सिरा स्थित है और उसकी गणना उसी परत के नियम से की जाती है, यह जानना

रेत की परत में K–δ नियम (क्रांतिक गहराई $L' = 15D$ पूरी पाइल पर लागू है), **मृत्तिका की परत में** α, λ और β नियमों का प्रयोग

शाफ्ट प्रतिरोध को **परतों में जोड़ना**; परत सीमाओं पर घर्षण में छलाँग और पाइल की लंबाई के प्रभाव की व्याख्या करना

बोर की गई पाइल में α* विंडो को और यह समझना कि c_{ub} कई परतों से आ सकता है

व्याख्यान प्रवाह

प्रत्येक विषय **तीन चरणों में** पढ़ाया जाता है:

1 · **सिद्धांत**: नियम क्या है, ऐसा क्यों है?

2 · **प्रश्न**: दिया गया है और ज्ञात करना है

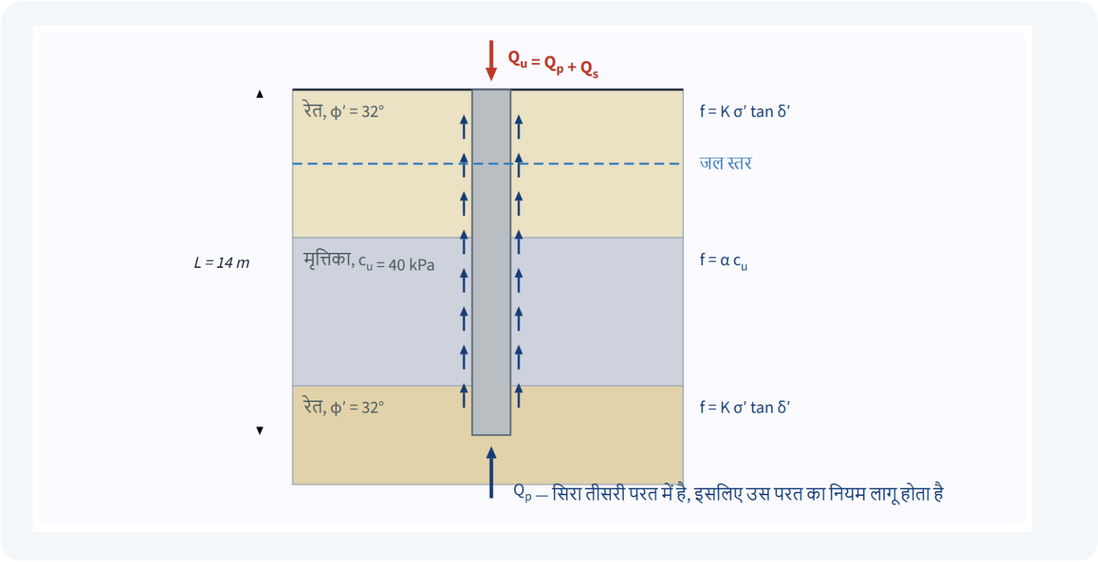
3 · **हल**: चरण-दर-चरण, संख्याओं सहित

अधिकांश उदाहरण एक ही पाइल से किए जाते हैं: 14 m लंबी, रेत–मृत्तिका–रेत प्रोफ़ाइल से होकर गुज़रने वाली 0.4 m व्यास की पाइल।

यह व्याख्यान **रेत में** और **मृत्तिका में पाइल** व्याख्यानों पर आधारित है: नियम हमने वहाँ सीखे, यहाँ देखते हैं कि कौन-सा कहाँ लागू होता है।

प्रत्येक परत अपने नियम के अनुसार प्रतिक्रिया देती है

सिद्धांत



पाइल शायद ही कभी किसी एक मृदा में प्रवेश करती है। प्रोफ़ाइल में **कई परतें** होती हैं; प्रत्येक को रेत या मृत्तिका के रूप में परिभाषित किया जाता है और **उसकी अपनी सामग्री का नियम** लागू किया जाता है। क्षमता अब भी दो भागों में होती है, पर अब वह एक ही सूत्र से नहीं पढ़ी जाती, बल्कि **खंड-दर-खंड निर्मित की जाती है**:

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

कोई नया सिद्धांत नहीं: रेत के नियम रेत मॉड्यूल के हैं, मृत्तिका के नियम मृत्तिका मॉड्यूल के।

नई बात **गणना की रूपरेखा** है: शाफ्ट के किस भाग में कौन-सा नियम मान्य है और प्रभावी प्रतिबल ऊपर की परतों से कैसे संचित होता है।

सिरा धारण **एकल परत** से, शाफ्ट प्रतिरोध **सभी परतों के योग** से प्राप्त होता है।

प्रतिबल सतत, घर्षण सोपानी

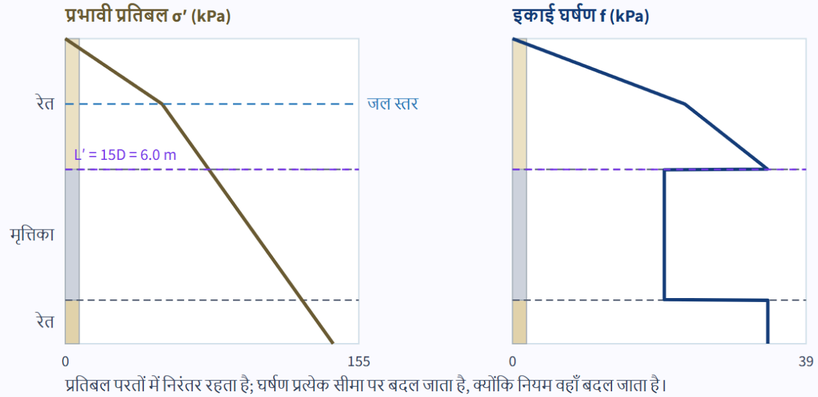
सिद्धांत

प्रभावी ऊर्ध्वाधर प्रतिबल परतों को जोड़ने वाली कड़ी है: **ऊपर की प्रत्येक परत का भार** संचित होता है; भूजल स्तर के ऊपर नम इकाई भार, नीचे निमज्जित इकाई भार प्रयोग किया जाता है।

$$\sigma'(z) = \sum \gamma_i h_i \qquad \text{(भूजल स्तर के ऊपर)}$$
$$+ \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \text{(भूजल स्तर के नीचे)}$$

मृत्तिका परत रेत को अपनी सामर्थ्य नहीं देती; परंतु **अपने भार के द्वारा** वह अपने नीचे की रेत द्वारा प्रदान किए गए प्रतिरोध को बदल देती है।

घर्षण, इसके विपरीत, सतत नहीं होता: रेत–मृत्तिका सीमा पर **नियम स्वयं बदल जाता है** और इकाई घर्षण में बड़ी छलांग आ सकती है। यह छलांग गणना की त्रुटि नहीं, बल्कि परतदार प्रोफ़ाइल का **पहचान-चिह्न** है।



प्रतिबल परतों में निरंतर रहता है; घर्षण प्रत्येक सीमा पर बदल जाता है, क्योंकि नियम वहाँ बदल जाता है।

प्रश्न

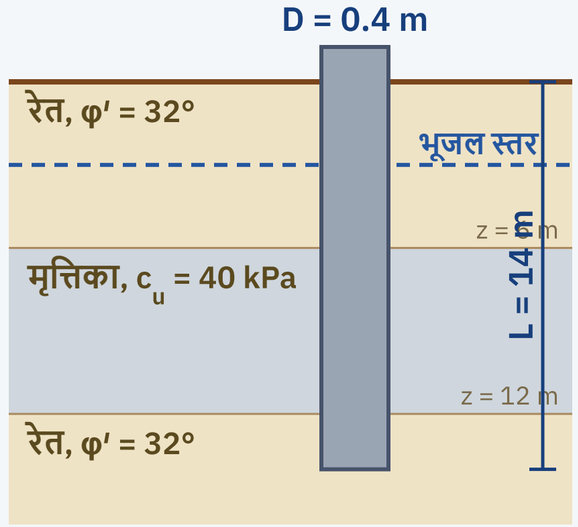
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
पाइल	**चालित, D = 0.4 m, L = 14 m**
जल का इकाई भार	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

ज्ञात करना है

3, 6, 12 और 14 m गहराइयों पर प्रभावी ऊर्ध्वाधर प्रतिबल ज्ञात कीजिए (14 m = पाइल का सिरा)।



हल (1/2)

हल

1 भूजल स्तर तक (3 m): पूरी परत नम है, $\gamma = 17$

$$\sigma'(3) = 17(3) = \mathbf{51.0}\ \text{kPa}$$

2 6 m (रेत–मृत्तिका सीमा): भूजल स्तर के नीचे $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 18 - 9.81$

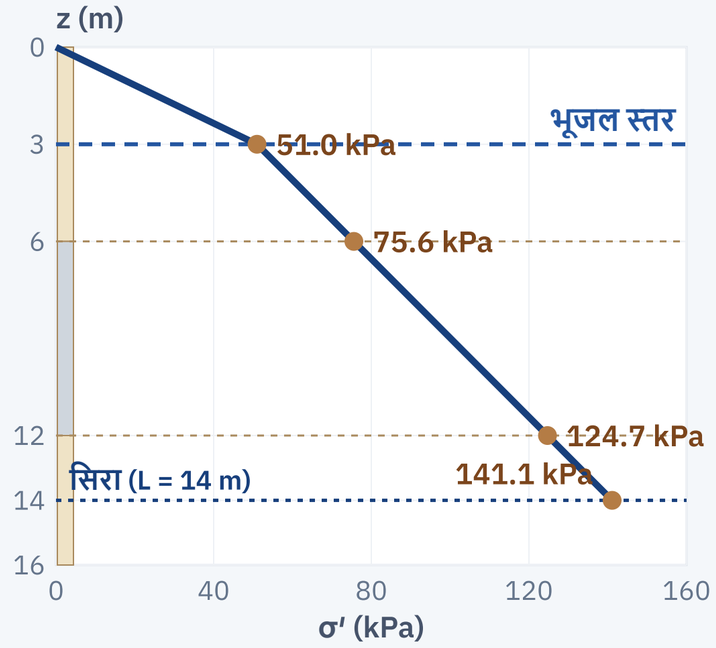
$$\sigma'(6) = 51.0 + (18 - 9.81)(3) = \mathbf{75.6}\ \text{kPa}$$

3 12 m (मृत्तिका–रेत सीमा): मृत्तिका का γ_{sat} मान भी 18 है

$$\sigma'(12) = 75.6 + (18 - 9.81)(6) = \mathbf{124.7}\ \text{kPa}$$

4 14 m (पाइल का सिरा)

$$\sigma'(14) = 124.7 + (18 - 9.81)(2) = \mathbf{141.1}\ \text{kPa}$$



हल (2/2)

हल

5 प्रत्येक खंड में σ' आरेख का क्षेत्रफल (समलंब); ये शाफ्ट की गणना में औसत प्रतिबल देंगे

$$A_{0-6} = \tfrac{1}{2}(0 + 51.0)(3) + \tfrac{1}{2}(51.0 + 75.6)(3) = 266.4$$

$$A_{6-12} = \tfrac{1}{2}(75.6 + 124.7)(6) = 600.8$$

$$A_{12-14} = \tfrac{1}{2}(124.7 + 141.1)(2) = 265.8$$

σ' **परतों के आर-पार सतत है**: रेत–मृत्तिका सीमा पर कोई छलांग नहीं है; ढाल केवल भूजल स्तर पर और γ' बदलने पर बदलता है। ये तीन क्षेत्रफल उदाहरण 4 और 5 में औसत σ' के रूप में प्रयुक्त होंगे।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सिरा केवल अपनी ही परत से पूछता है

सिद्धांत

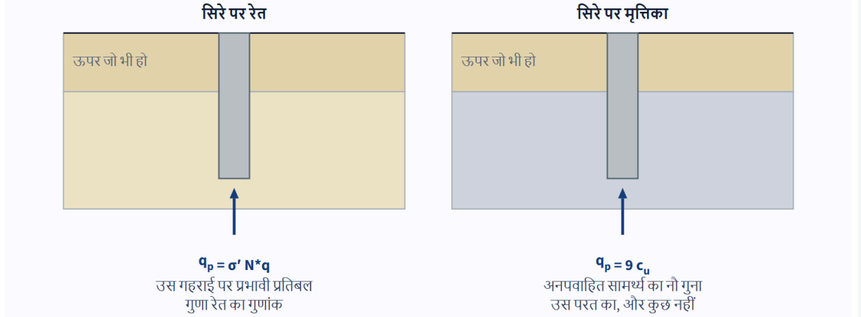
सिरा धारण **एक ही परत** का होता है: वह परत जिसमें पाइल का सिरा स्थित है। यह उस परत की सामग्री के अनुसार निकाला जाता है; ऊपर की परतें केवल σ′ के माध्यम से (**रेत के सिरे पर**) प्रभाव डालती हैं, **मृत्तिका के सिरे पर बिल्कुल प्रभाव नहीं डालतीं**।

रेत: $$Q_p = A_p\, q'\, N_q^* \le A_p\, q_l, \quad q_l = 0.5\, p_a N_q^* \tan\varphi'$$

मृत्तिका: $$Q_p = A_p\, c_u\, N_c^*, \quad N_c^* = 9 \text{ (Meyerhof)}$$

जिस पाइल का सिरा **ठीक किसी सीमा** पर पड़ता है, उसे सीमा के **नीचे की** परत पर टिका हुआ माना जाता है।

Coyle–Castello एक **रेत** सहसंबंध है; मृत्तिका वाले सिरे पर इसका कोई अर्थ नहीं है, चुना जाने पर भी मृत्तिका नियम ही मान्य रहता है।



रेत वाले सिरे पर σ′ और N^*_q निर्णायक होते हैं; मृत्तिका वाले सिरे पर केवल उस परत का c_u मान।

प्रश्न

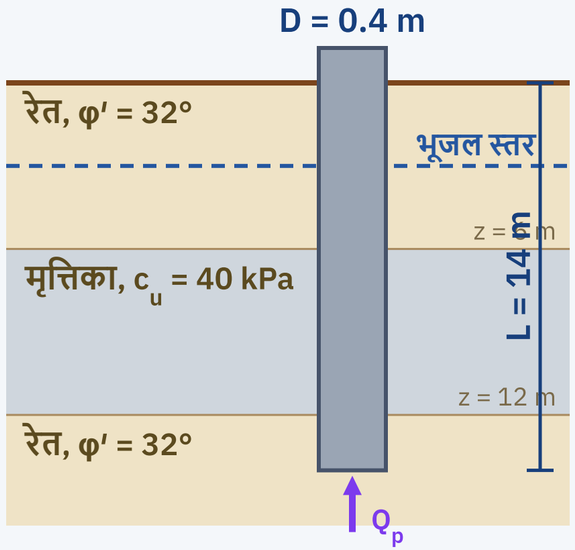
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
पाइल	**चालित, वृत्ताकार काट, D = 0.4 m, L = 14 m**
सिरा विधि	**Meyerhof**
वायुमंडलीय दाब	$p_a = 100$ kPa
सिरे पर प्रभावी प्रतिबल	$q' = \sigma'(14) = 141.1$ kPa **(उदाहरण 1)**

ज्ञात करना है

निर्धारित कीजिए कि सिरा किस परत में स्थित है और **सिरा धारण प्रतिरोध** Q_p ज्ञात कीजिए।



हल (1/2)

हल

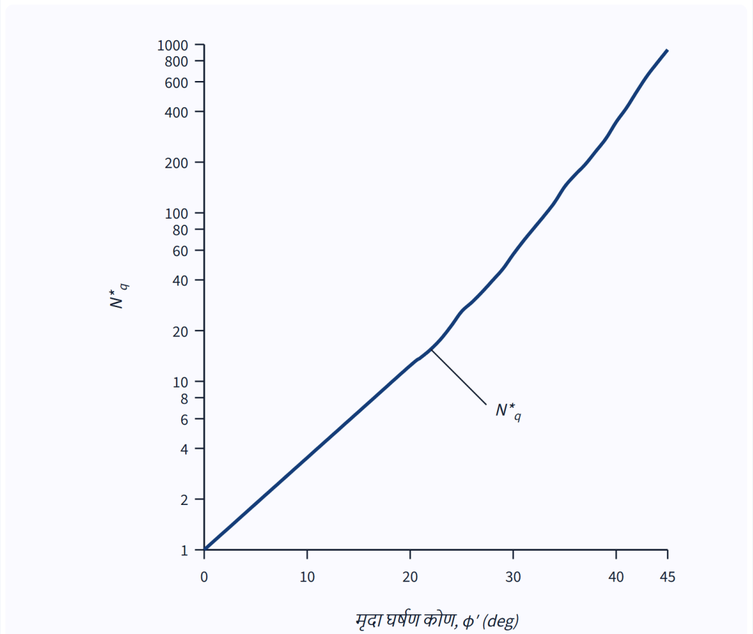
1 सिरे की परत: L = 14 m, 12–16 m के बीच की रेत में → रेत नियम (ऊपर की मृत्तिका का सिरे से कोई संबंध नहीं)

$$\varphi' = 32^\circ \qquad q' = \sigma'(14) = 141.1 \text{ kPa}$$

2 N^*_q, Meyerhof चार्ट से $\varphi' = 32°$ के लिए; फिर दोनों मान साथ-साथ

$$N_q^* = 81$$
$$q' N_q^* = 141.1(81) = 11{,}428 \text{ kPa}$$
$$q_l = 0.5(100)(81)\tan 32^\circ = 2{,}531 \text{ kPa}$$

चार्ट में N^*_q का मान (बगल में) 81 है; $q'N^*_q$ = 11,428 kPa, सीमा मान q_l = 2,531 kPa से बहुत अधिक है: **सीमा निर्धारक है**।



हल (2/2)

हल

3 इकाई सिरा धारण: दोनों में से छोटा मान

$$q_p = \min(q' N_q^*;\ q_l) = \min(11{,}428;\ 2{,}531) = \mathbf{2{,}531}\ \text{kPa}$$

4 पाइल के सिरे का क्षेत्रफल और सिरा धारण

$$A_p = \frac{\pi (0.4)^2}{4} = 0.1257\ \text{m}^2 \qquad Q_p = A_p\, q_p = 0.1257(2{,}531) = \mathbf{318.0}\ \text{kN}$$

सिरा धारण **318.0 kN**। पाइल का सिरा रेत में होने के कारण रेत का नियम लागू होता है; सीमा सक्रिय होने के कारण इस उदाहरण में σ′ का मान परिणाम को नहीं बदलता।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

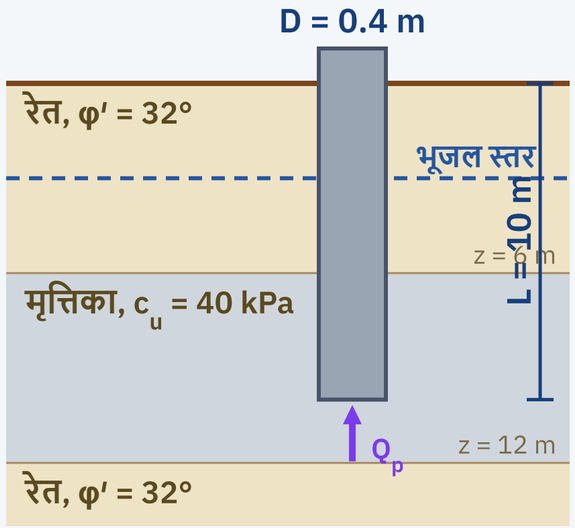
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
पाइल	**वही पाइल, लेकिन L = 10 m**
सिरा विधियाँ	**Meyerhof और Vesic**
वायुमंडलीय दाब	$p_a = 100$ kPa

ज्ञात करना है

यदि पाइल को 10 m तक छोटा कर दिया जाए, तो ज्ञात कीजिए कि सिरा किस परत में रहता है और **सिरा धारण** को दो विधियों से ज्ञात कीजिए।



हल

हल

1 सिरे की परत: L = 10 m, 6–12 m के बीच की मृत्तिका में → मृत्तिका नियम (रेत और σ′ अब गणना में नहीं आते)

$$c_u = 40 \text{ kPa} \qquad A_p = 0.1257 \text{ m}^2$$

2 Meyerhof: $N^*_c = 9$

$$q_p = 9\,c_u = 9(40) = 360 \text{ kPa} \qquad Q_p = 0.1257(360) = \mathbf{45.2} \text{ kN}$$

3 Vesic: $I_{rr} = I_r = 347(c_u/p_a) - 33$

$$I_{rr} = 347(0.4) - 33 = 105.8$$
$$N_c^* = \tfrac{4}{3}(\ln 105.8 + 1) + \tfrac{\pi}{2} + 1 = 10.12$$
$$q_p = 40(10.12) = 405 \text{ kPa} \;\Rightarrow\; Q_p = 0.1257(405) = \mathbf{50.9} \text{ kN}$$

जिस पाइल का सिरा रेत में है उसमें Q_p = **318 kN** था; मृत्तिका में रह जाने पर **45 – 51 kN**: लगभग सातवाँ भाग। उसी पाइल को 2 m बढ़ाकर सिरे को रेत में पहुँचाने से सिरा धारण अचानक बढ़ जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

K–δ: क्रांतिक गहराई पूरी पाइल की होती है

सिद्धांत

रेत की परत में शाफ्ट क्षैतिज प्रभावी प्रतिबल के विरुद्ध घर्षण द्वारा प्रतिरोध देता है। प्रत्येक रेत परत का **अपना** K और δ′ मान होता है:

$$f = K_i\,\sigma'\tan\delta_i' \quad (z \le L') \qquad f = f_{z=L'} \quad (z > L'),\quad L' = 15D$$

L′ **पूरी पाइल** से संबंधित है, परत से नहीं: L′ के नीचे σ′ का मान L′ पर के मान पर स्थिर रखा जाता है।

गहरी रेत की परत, उसकी सीमा कहीं भी हो, पूरी परत में **स्थिर** इकाई घर्षण देती है।

विकल्प: **Coyle–Castello**। परत का अपना K (चार्ट से), δ′ = 0.8φ′ और परत का औसत σ′ मान; कोई क्रांतिक गहराई नहीं है, औसत ही उसका काम कर देता है।

COYLE–CASTELLO (प्रति परत)

$$f_i = K_i\,\bar{\sigma}_i'\tan(0.8\varphi_i')$$

$$Q_s = p\sum f_i\,\Delta L_i$$

K–δ विधि में δ′ प्रायः 0.75φ′ – 0.8φ′ की सीमा में लिया जाता है; इस प्रस्तुति में **δ′ = 0.8φ′ = 25.6°** और **K = 1.0** प्रयुक्त किए जाएँगे।

प्रश्न

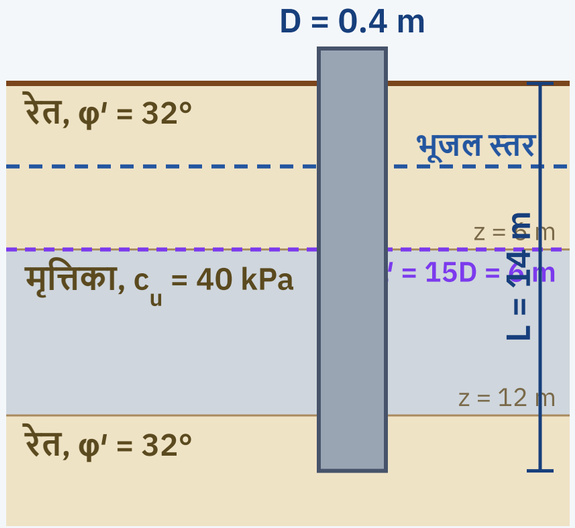
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
पाइल	**चालित, D = 0.4 m, L = 14 m**
परिमाप	$p = \pi D = 1.257$ m
रेत की परतों में	$K = 1.0,\ \delta' = 0.8\varphi' = 25.6^\circ$ **(मॉड्यूल में ये मान दर्ज करें; मॉड्यूल K = 0.66 और δ′ = 24° के साथ खुलता है)**

ज्ञात करना है

रेत परतों (0–6 m और 12–14 m) का शाफ्ट प्रतिरोध K–δ विधि से ज्ञात कीजिए। क्रांतिक गहराई L′ = 15D।



हल (1/2)

हल

1 क्रांतिक गहराई (पूरे पाइल के लिए एकल)

$$L' = \min(15D;\ L) = \min(15(0.4);\ 14) = \mathbf{6}\ \text{m} \qquad \sigma'(L') = 75.6\ \text{kPa (उदाहरण 1)}$$

2 रेत 1 (0–6 m): परत पूरी तरह L′ के भीतर है, कोई कैप नहीं; औसत σ′ = क्षेत्रफल / मोटाई

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{266.4}{6} = 44.4\ \text{kPa}$$

3 इकाई घर्षण और प्रतिरोध

$$f_1 = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}'_1 = 1.0(0.4791)(44.4) = 21.3\ \text{kPa}$$

$$Q_{s1} = p\, f_1 H = 1.2566(21.3)(6) = \mathbf{160.4}\ \text{kN}$$

हल (2/2)

हल

4 रेत 2 (12–14 m): पूरी तरह L′ के नीचे → σ′ का मान L′ पर के मान पर स्थिर रखा जाता है

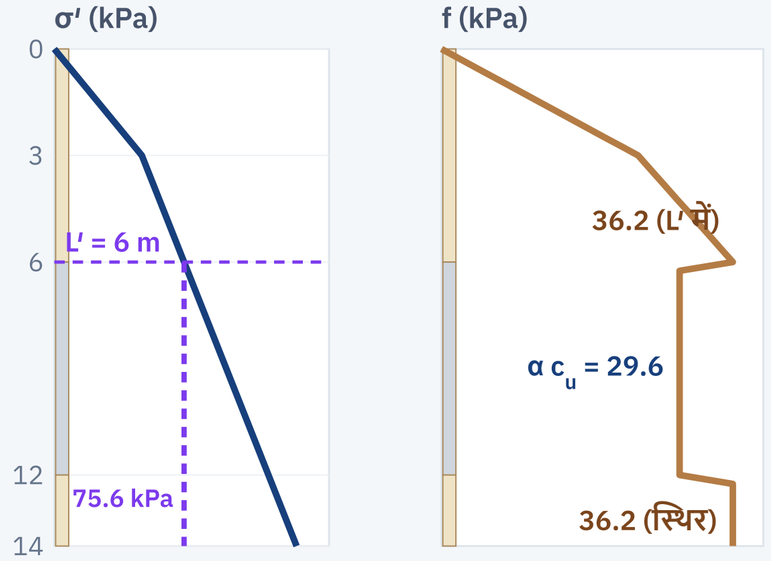
$$\sigma' = \sigma'(L') = 75.6 \text{ kPa}$$

$$f_3 = 1.0(0.4791)(75.6) = \mathbf{36.2} \text{ kPa}$$

5 प्रतिरोध (मोटाई 14 − 12 = 2 m)

$$Q_{s3} = p\, f_3 H = 1.2566(36.2)(2) = \mathbf{91.0} \text{ kN}$$

क्रांतिक गहराई न होती तो इस खंड में σ′ = 132.9 kPa, f = 63.7 kPa और Q_{s3} = 160 kN आता। **L′ की सीमा** रेत के गहरे खंड से **69 kN** घटा देती है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

मृत्तिका में भी प्रत्येक परत अपनी विधि चुनती है

सिद्धांत

मृत्तिका परत में शाफ्ट **आसंजन** या **प्रभावी प्रतिबल** से प्रतिरोध देता है; मृत्तिका मॉड्यूल की तीनों विधियाँ प्रति परत प्रयुक्त की जा सकती हैं:

$$\alpha:\ f = \alpha_i c_{u,i} \qquad \lambda:\ f_i = \lambda\,(\bar{\sigma}'_i + 2c_{u,i}),\ \lambda = \lambda(L)$$

$$\beta:\ \beta_i = (1-\sin\varphi'_{R,i})\tan\varphi'_{R,i}\sqrt{OCR_i},\quad f_i = \beta_i\bar{\sigma}'_i$$

α: परत के भीतर गहराई पर **निर्भर नहीं करता**; घर्षण परत के अनुदिश स्थिर (एकसमान) रहता है।

λ और β प्रभावी प्रतिबल को पुनः स्थापित करते हैं; ऊपर की परतों पर निर्भर होकर ये **सोपान** बनाते हैं।

एक ईमानदार टिप्पणी

Vijayvergiya और Focht ने λ को **पूरी गड़ी हुई लंबाई के लिए एकल औसत** के रूप में लिखा। परतदार प्रोफ़ाइल में इसे प्रत्येक मृत्तिका परत पर अलग से लागू करना (लंबाई L पर λ, उस परत का औसत σ′ और c_u मान) विधि का **इस सॉफ़्टवेयर का अपना विस्तार है**; मॉड्यूल इसे हर स्थान पर स्पष्ट करता है।

φ'_R और OCR **दर्ज किए जाते हैं**, मृदा से किसी सहसंबंध द्वारा नहीं पढ़े जाते (30° और 1 के साथ खुलता है)।

प्रश्न

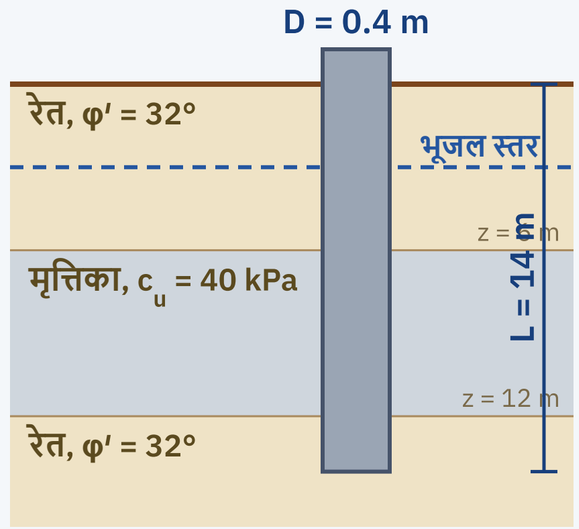
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
पाइल	**चालित, D = 0.4 m, L = 14 m, p = 1.257 m**
मृत्तिका का औसत σ′	$\bar{\sigma}'_2 = A_{6-12}/6 = 100.1$ kPa **(उदाहरण 1)**
β के लिए	$\varphi'_R = 30^\circ,\ OCR = 1$
α के लिए	$p_a = 100$ kPa**, α तालिका से**

ज्ञात करना है

मृत्तिका परत (6–12 m) का शाफ्ट प्रतिरोध **α, λ और β** विधियों से ज्ञात कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 α विधि: $c_u/p_a = 0.4$ के लिए सारणी से α

$$\alpha = 0.74 \quad f = \alpha c_u = 0.74(40) = 29.6 \text{ kPa} \quad Q_s = 1.2566(29.6)(6) = \mathbf{223.2} \text{ kN}$$

2 λ विधि: λ **पाइल की लंबाई** (L = 14 m) के लिए तालिका से ($\lambda_{10} = 0.245$; $\lambda_{15} = 0.200$)

$$\lambda = 0.209$$

$$f = \lambda(\bar{\sigma}'_2 + 2c_u) = 0.209(100.1 + 2(40)) = 37.6 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 1.2566(37.6)(6) = \mathbf{283.9} \text{ kN}$$

हल (2/2)

हल

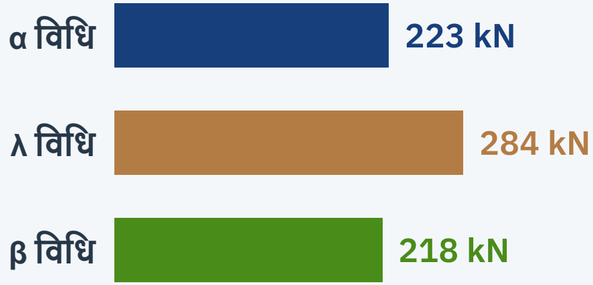
3 β विधि: $\varphi'_R = 30°$, OCR = 1

$$\beta = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = 0.289$$

$$f = \beta \bar{\sigma}'_2 = 0.289(100.1) = 28.9 \text{ kPa}$$

$$Q_s = 1.2566(28.9)(6) = \mathbf{218.0} \text{ kN}$$

तीनों विधियाँ एक ही मृत्तिका परत के लिए **223**, **284** और **218 kN** देती हैं: α और β एक-दूसरे के निकट हैं, λ लगभग 27% अधिक है। अंतर उन मान्यताओं से आता है जिन पर विधियाँ आधारित हैं; λ का प्रति परत उपयोग इसके अतिरिक्त एक विस्तार है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एक ही समाकल: पाइल की पूरी लंबाई पर

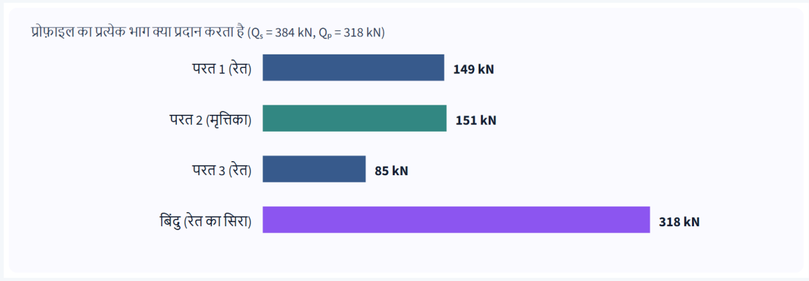
सिद्धांत

शाफ्ट प्रतिरोध, पाइल की लंबाई के अनुदिश घर्षण के समाकल और परिमाप का गुणनफल है। गणना संख्यात्मक रूप से की जाती है; सीमा **कहीं भी** हो सकती है, और परत के मध्य में समाप्त होने वाली पाइल के लिए भी किसी विशेष स्थिति की आवश्यकता नहीं होती:

$$Q_s = p \int_0^L f(z)\,dz \;\approx\; p \sum f_i\,\Delta z_i$$

इस दृष्टि से देखने पर स्तरीकरण समस्या नहीं रह जाता और **डिज़ाइन प्रश्न** बन जाता है: प्रोफ़ाइल का **कौन-सा भाग** पाइल को वहन कर रहा है?

यदि पाइल को अगली सीमा के पार बढ़ाया या छोटा किया जाए, तो क्षमता कैसे बदलती है?



उदाहरण पाइल के प्रत्येक भाग का योगदान (Q_s = 475 kN, Q_p = 318 kN) l

प्रश्न

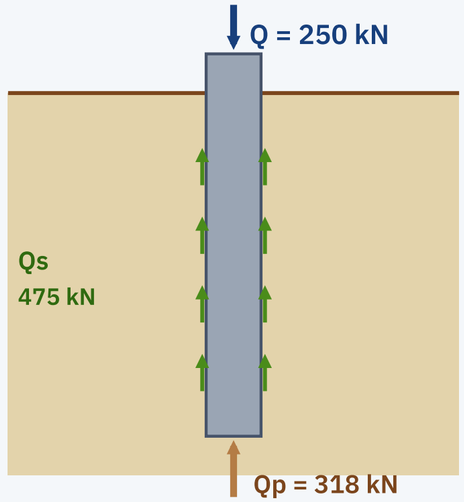
उदाहरण

दिया गया है

सिरा धारण	Q_p = 318.0 kN (उदाहरण 2)
रेत 1 (0–6 m)	Q_{s1} = 160.4 kN (उदाहरण 4)
मृत्तिका (6–12 m)	Q_{s2} = 223.2 kN (α विधि, उदाहरण 5)
रेत 2 (12–14 m)	Q_{s3} = 91.0 kN (उदाहरण 4)
सुरक्षा गुणांक	FS = 3
पाइल पर कार्यकारी भार	Q = 250 kN

ज्ञात करना है

पाइल की **चरम** और **अनुमेय** धारण क्षमता ज्ञात कीजिए; क्या कार्यकारी भार के लिए यह पर्याप्त है?



हल

हल

1 शाफ्ट प्रतिरोध: खंडों का योग

$$Q_s = 160.4 + 223.2 + 91.0 \approx \mathbf{474.5}\ \text{kN}$$

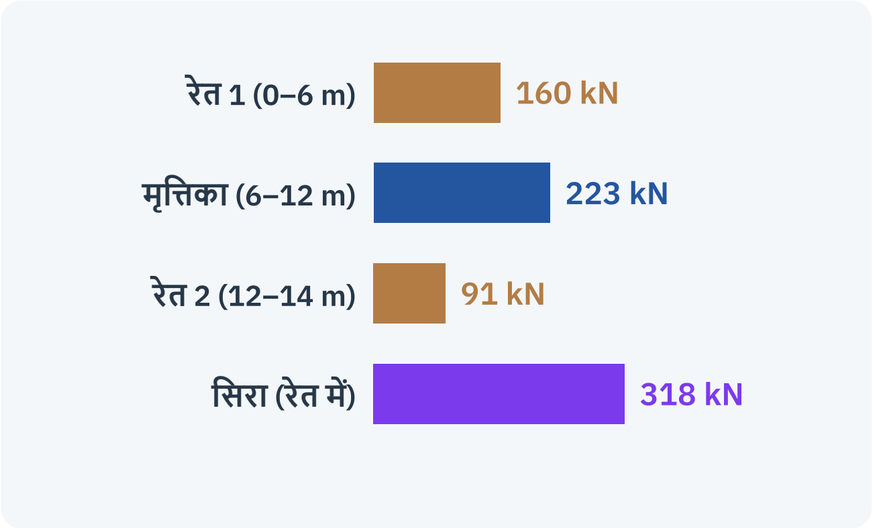
2 चरम धारण क्षमता

$$Q_u = Q_p + Q_s = 318.0 + 474.5 = \mathbf{792.6}\ \text{kN}$$

3 अनुमेय धारण क्षमता और जाँच

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{792.6}{3} = \mathbf{264.2}\ \text{kN}$$

$$Q = 250 \le 264.2 \ \Rightarrow\ \text{पर्याप्त}$$



उपयोग अनुपात 0.95 है। मृत्तिका परत पाइल की लंबाई का केवल 43% बनाती है, परंतु शाफ्ट प्रतिरोध का 47% प्रदान करती है: क्रांतिक गहराई के बाद रेत में σ′ का बढ़ना रुक जाता है, जबकि मृत्तिका प्रत्येक गहराई पर समान α c_u मान देती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

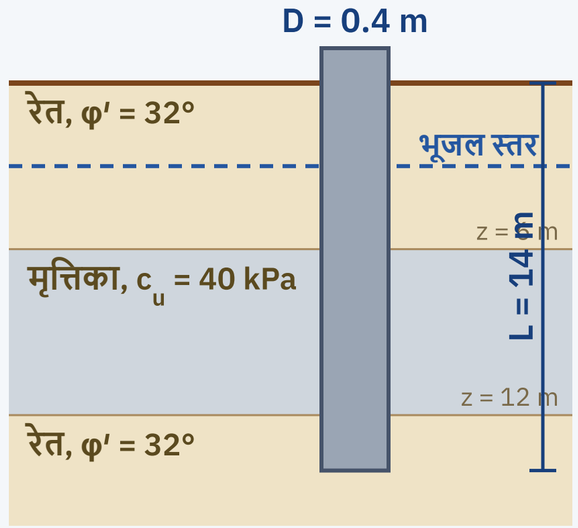
उदाहरण

दिया गया है

रेत 1 (0–6 m)	$\varphi' = 32^\circ$
मृत्तिका (6–12 m)	$c_u = 40$ kPa
रेत 2 (12–16 m)	$\varphi' = 32^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(तीन परतें)**
भूजल	**3.0 m गहराई पर**
विधियाँ	**चालित पाइल, D = 0.4 m; Meyerhof, α, K–δ**
लंबाइयाँ	**L = 10, 12, 14 और 16 m**
ज्ञात राशियाँ	**L = 14 m के लिए उदाहरण 2–6**

ज्ञात करना है

पाइल की लंबाई **10, 12 और 16 m** होने पर Q_u कैसे बदलता है? परिवर्तन का **कारण** स्पष्ट कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 L = 10 m: सिरा मृत्तिका में (उदाहरण 3); मृत्तिका खंड केवल 6–10 m

$$Q_p = 45.2\ ; \quad Q_s = 160.4 + 148.8 = 309.2\ ; \quad Q_u = \mathbf{354.4}\ \text{kN}$$

2 L = 12 m: सिरा ठीक सीमा पर → **नीचे की रेत पर टिकता है**; रेत 2 अभी शाफ्ट में शामिल नहीं होती

$$Q_p = 318.0\ ; \quad Q_s = 160.4 + 223.2 = 383.5\ ; \quad Q_u = \mathbf{701.6}\ \text{kN}$$

3 L = 16 m: रेत 2 चार मीटर मोटाई के साथ शाफ्ट में सम्मिलित होती है (σ′ सीमित: f स्थिर)

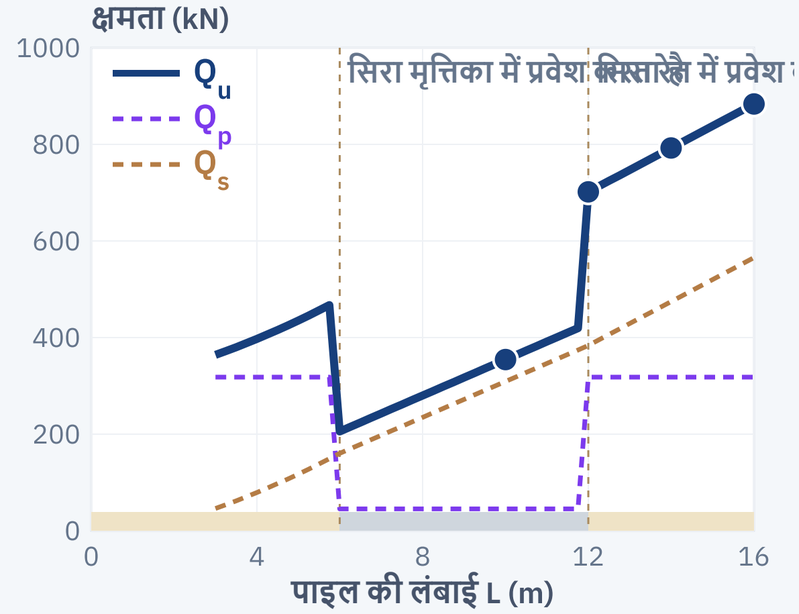
$$Q_p = 318.0\ ; \quad Q_s = 160.4 + 223.2 + 182.0 = 565.5\ ; \quad Q_u = \mathbf{883.6}\ \text{kN}$$

हल (2/2)

हल

L (m)	सिरा परत	Q_p (kN)	Q_s (kN)	Q_u (kN)	Q_{all} (kN)
10	मृत्तिका	45	309	**354**	118
12	रेत	318	384	**702**	234
14	रेत	318	475	**793**	264
16	रेत	318	566	**884**	295

10 m → 12 m: क्षमता **347 kN** बढ़ती है (98%): इसमें से 273 kN **सिरे के रेत में प्रवेश करने** से आता है। 12 m के बाद प्रत्येक मीटर केवल ≈ 45 kN जोड़ता है। परतदार प्रोफ़ाइल में पाइल की लंबाई का निर्धारण करने वाली बात **सिरे का किस परत में समाप्त होना** है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

बोर की गई पाइल के नियम मिश्रित प्रोफ़ाइल में भी मान्य हैं

सिद्धांत

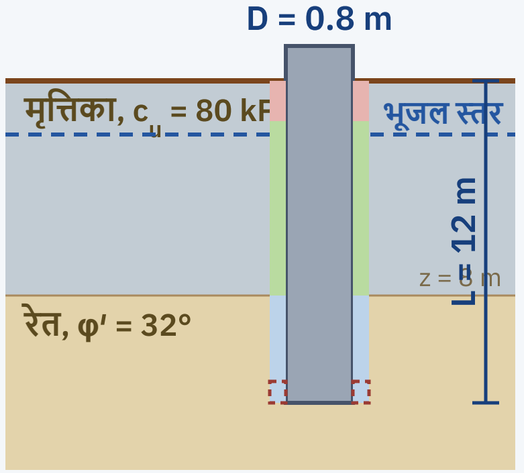
छिद्र बनाया जाता है, कंक्रीट डाला जाता है: मृदा विस्थापित नहीं होती, मृत्तिका बोरहोल की दीवार पर नरम पड़ जाती है, तल के नीचे कटिंग का मलबा जमा हो सकता है। मिश्रित प्रोफ़ाइल में प्रक्रिया का प्रत्येक आधा भाग **जिस स्थान का है वहीं** लागू किया जाता है:

मृत्तिका परतें (α): $\alpha^* = 0.55\ (c_u/p_a \le 1.5)$; **ऊपर के 1.5 m और नीचे के 1D** में $\alpha^* = 0$। यह विंडो **केवल α** से संबंधित है, λ और β तक नहीं ले जाई जाती।

रेत परतें अपना K–δ या Coyle–Castello नियम बनाए रखती हैं; बोरिंग में मृदा विस्थापित नहीं होती, इसलिए K लगभग $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ होता है।

यदि **आधार** मृत्तिका में है, तो Reese–O'Neill: $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$। c_{ub} आधार के नीचे **$2D_b$** की लंबाई पर औसत c_u है; यदि यह क्षेत्र एक से अधिक परतों तक फैला हो तो मोटाई के अनुसार भारित।

यह क्षेत्र **पूर्णतः मृत्तिका** होना चाहिए: यदि यह रेत तक फैला है, तो मॉड्यूल रुक जाता है और Meyerhof या Vesic चुनने को कहता है।



लाल: $\alpha^* = 0$ (ऊपरी 1.5 m)। हरा: $\alpha^* = 0.55$। नीला: रेत में K–δ। डैश वाला लाल: निचला 1D, रेत में कोई विंडो नहीं।

प्रश्न

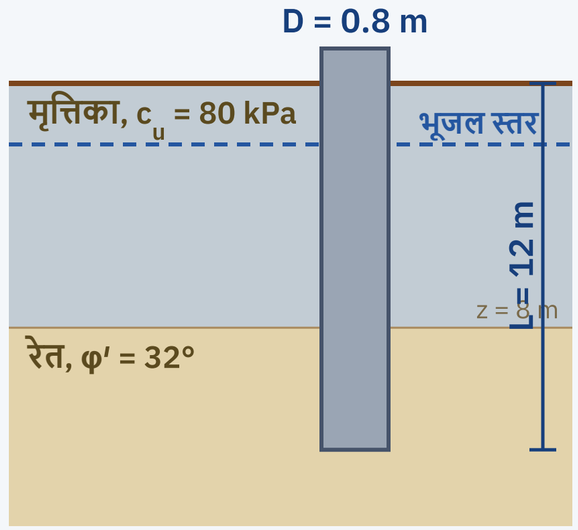
उदाहरण

दिया गया है

पाइल	**बोर की गई (ड्रिल्ड) पाइल, वृत्ताकार काट, D = 0.8 m, L = 12 m**
मृत्तिका (0–8 m)	$c_u = 80$ kPa, $\gamma = \gamma_{sat} = 18$ kN/m^3
रेत (8–20 m)	$\varphi' = 32^\circ$, $\gamma = 18$, $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3
भूजल	**2.0 m गहराई पर**
रेत के लिए	$K = K_0 = 0.47$, $\delta' = 0.75\varphi' = 24^\circ$
सिरा	**Meyerhof; FS = 3**

ज्ञात करना है

बोर की गई पाइल का **सिरा धारण**, **शाफ्ट प्रतिरोध** और **अनुमेय धारण क्षमता** ज्ञात कीजिए।



हल (1/3)

हल

1 मृत्तिका परत: α* और विंडो (ऊपर के 1.5 m और नीचे के 1D = 0.8 m छोड़ दिए जाते हैं: 1.5 → 12 − 0.8 = 11.2 m)

$$\alpha^* = 0.55 \ (c_u/p_a = 0.8 \le 1.5) \qquad L_{eff} = 8 - 1.5 = \mathbf{6.5}\ \text{m}$$

2 इकाई घर्षण और प्रतिरोध

$$f = \alpha^* c_u = 0.55(80) = 44.0\ \text{kPa} \qquad Q_{s1} = \pi(0.8)(44.0)(6.5) = \mathbf{718.8}\ \text{kN}$$

हल (2/3)

हल

3 रेत की परत (8–12 m): उसका अपना K–δ नियम; L′ = min(15D; L) = min(12; 12) = 12 m, अर्थात् परत में कोई अधिकतम-सीमा (कैप) नहीं

$$\sigma'(8) = 85.1\ ;\ \sigma'(12) = 121.9\ \text{kPa} \qquad \bar{\sigma}' = \frac{414.1}{4} = 103.5\ \text{kPa}$$

4 इकाई घर्षण और प्रतिरोध

$$f = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}' = 0.47 \tan 24^\circ (103.5) = 21.7\ \text{kPa}$$

$$Q_{s2} = \pi(0.8)(21.7)(4) = \mathbf{217.8}\ \text{kN}$$

α विंडो का **निचला 1D** भाग (11.2 – 12 m) रेत परत में पड़ता है; चूँकि विंडो α की है, रेत इन 0.8 m में भी अपना घर्षण बनाए रखती है।

हल (3/3)

हल

5 सिरा रेत में → रेत का नियम (Meyerhof); बोरिंग के लिए अतिरिक्त कटौती नहीं, दर्ज किया गया φ′ उपयोग किया जाता है

$$q' = \sigma'(12) = 121.9 \text{ kPa} \qquad N_q^* = 81$$

$$q' N_q^* = 9{,}874 > q_l = 2{,}531 \text{ kPa} \;\Rightarrow\; q_p = 2{,}531 \text{ kPa}$$

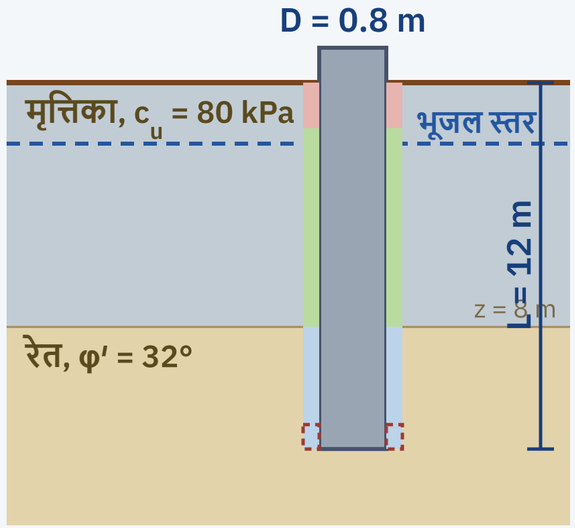
$$Q_p = A_p q_p = 0.5027(2{,}531) = \mathbf{1{,}272} \text{ kN}$$

6 कुल और अनुमेय धारण क्षमता

$$Q_s = 718.8 + 217.8 = \mathbf{936.6} \text{ kN}$$

$$Q_u = 1{,}272 + 937 = 2{,}209 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{2{,}209}{3} = \mathbf{736} \text{ kN}$$



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

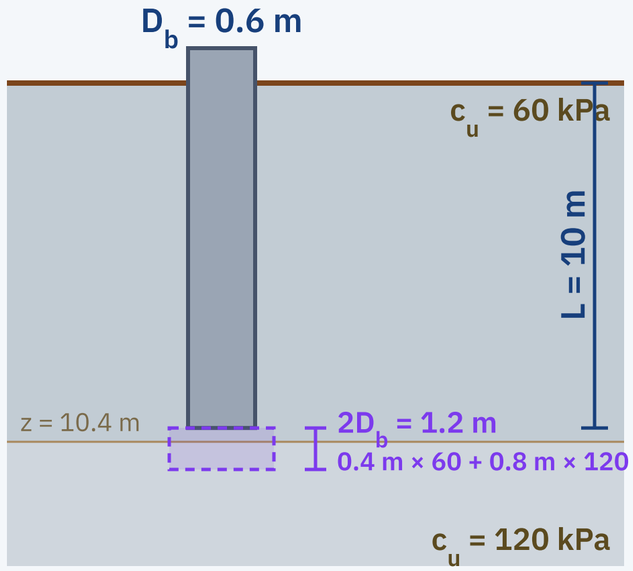
उदाहरण

दिया गया है

पाइल	**बोर की गई पाइल, $D_b = D = 0.6$ m, $L = 10$ m**
मृत्तिका 1 (0–10.4 m)	$c_u = 60$ kPa
मृत्तिका 2 (10.4–20 m)	$c_u = 120$ kPa
आधार	**Reese–O'Neill; $p_a = 100$ kPa**

ज्ञात करना है

आधार के नीचे **$2D_b$** क्षेत्र में **c_{ub}**, तथा **q_p** और **Q_p** के मान ज्ञात कीजिए।



हल

हल

1 क्षेत्र 10 → 10 + 2D_b = 11.2 m; सीमा 10.4 m पर: मोटाई-भारित औसत

$$c_{ub} = \frac{60(0.4) + 120(0.8)}{1.2} = \mathbf{100}\ \text{kPa}$$

2 तीनों मानों में से न्यूनतम

$$6c_{ub}\left(1 + 0.2\,\frac{L}{D_b}\right) = 2{,}600\ ; \quad 9c_{ub} = 900\ ; \quad 40p_a = 4\,000 \ \Rightarrow \ q_p = \mathbf{900}\ \text{kPa}$$

3 आधार क्षेत्रफल और सिरा धारण

$$A_b = \frac{\pi(0.6)^2}{4} = 0.2827\ \text{m}^2 \qquad Q_p = 0.2827(900) = \mathbf{254.5}\ \text{kN}$$

यदि केवल सिरे का c_u = 60 kPa लिया जाता तो Q_p = 152.7 kN आता: नीचे की कठोर मृत्तिका **67%** अधिक देती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एकल सुरक्षा गुणांक, परंतु अनिश्चितता बड़ी है

सिद्धांत

चरम क्षमता दोनों घटकों का योग है; अनुमेय क्षमता इस योग के **पूरे पर एक ही सुरक्षा गुणांक** लगाकर ज्ञात की जाती है:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

एकल पाइल के लिए सामान्य **FS = 2.5 – 4**।

ऊपरी सिरा: जहाँ प्रोफ़ाइल **कम बोरहोल** से ज्ञात हो। परतदार प्रोफ़ाइल ठीक यही स्थिति है: बोरहोलों के बीच **सीमाएँ सबसे अनिश्चित स्थान हैं**, और ऊपर के उदाहरण ने दिखाया कि सीमा का केवल एक मीटर क्षमता को कितना बदल देता है।

दो विषयों के लिए अलग-अलग गणना आवश्यक है

परतदार प्रोफ़ाइल में, क्षमता की गणना से अलग:

- किसी मृदु परत का सेटल होकर पाइल पर **ऋणात्मक पार्श्व घर्षण** के रूप में लटकना
- सिरे के नीचे की संपीड्य परत द्वारा निर्धारित **सेटलमेंट**

परत और स्थापन के अनुसार नियम

सिद्धांत

परत	शाफ्ट (Q_s)	सिरा (Q_p): सिरे की परत
रेत	K–δ ($L' = 15D$, पूरी पाइल के लिए एक मान) या Coyle–Castello (K ♂ $\tan 0.8\varphi'$)	$q'N^*_q \le q_l$ (Meyerhof), Vesic, Coyle–Castello
मृत्तिका	$\alpha \cdot \lambda$ (प्रति परत: विस्तार) · β	$9c_u$ (Meyerhof) · $N^*_c(I_{rr})$ (Vesic)
बोर की गई पाइल, मृत्तिका	$\alpha^* = 0.55$; ऊपरी 1.5 m और निचला 1D = 0	Reese–O'Neill: $c_{ub} = 2D_b$ का औसत
बोर की गई पाइल, रेत	$K \approx K_0 = 1 - \sin\varphi'$; विंडो लागू नहीं होती	$q'N^*_q$ (दर्ज किया गया φ')

प्रत्येक पंक्ति संबंधित परत के लिए एक अलग चयन है; **एक ही पाइल में** रेत और मृत्तिका दोनों के नियम उपयोग किए जाते हैं।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

प्रभावी प्रतिबल **परतों के आर-पार संचित होता है** और सतत होता है; जबकि इकाई घर्षण **सीमाओं पर छलांग लेता है**

सिरे की गणना केवल उस परत के नियम से की जाती है जिसमें सिरा स्थित है; सीमा पर पड़ने वाला सिरा **नीचे वाली** परत में माना जाता है

रेत: $f = K\sigma' \tan\delta'$ और **$L' = 15D$ पूरी पाइल पर लागू होता है** · **मृत्तिका**: α, λ (प्रति परत एक विस्तार), β

शाफ्ट परतों का योग है: $Q_s = p\Sigma f_i \Delta z_i$; लंबाई इस पर निर्भर करती है कि सिरा किस परत में समाप्त होता है

बोर की गई पाइल: α* विंडो केवल मृत्तिका/α के लिए है; यदि आधार मृत्तिका में हो तो c_{ub} को $2D_b$ की लंबाई पर लिया जाता है (कई परतें हो सकती हैं)

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, FS = 2.5 – 4; बड़े कार्य में **भार परीक्षण**

संदर्भ

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — तालिका 2 के α मान।

Coyle, H.M. and Castello, R.R. (1981). New design correlations for piles in sand. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT7), 965–986.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference Paper 1718, Houston.

O’Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — बोर की गई पाइल का ड्रिल-शाफ्ट α।

Reese, L.C. और O’Neill, M.W. (1989)। Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods। FHWA — मृत्तिका में एक ड्रिल किए गए शाफ्ट की आधार अभिव्यक्ति।

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Mansur, C.I. and Hunter, A.H. (1970). Pile tests, Arkansas River project. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96(SM5), 1545–1582.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning, जो इन विधियों को उस रूप में एक साथ लाता है जिसका यह पृष्ठ पालन करता है।

टिप्पणी

इस प्रस्तुति की आकृतियाँ GeoTerva सिद्धांत पृष्ठ से ली गई हैं; सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल के अपने गणना नियमों और लाइब्रेरी से तैयार किए गए हैं, मॉड्यूल वही मान देता है।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

इस प्रस्तुति के उदाहरण पाइल की गणना GeoTerva में चरण दर चरण करें: संख्याएँ वही हैं।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें

नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।