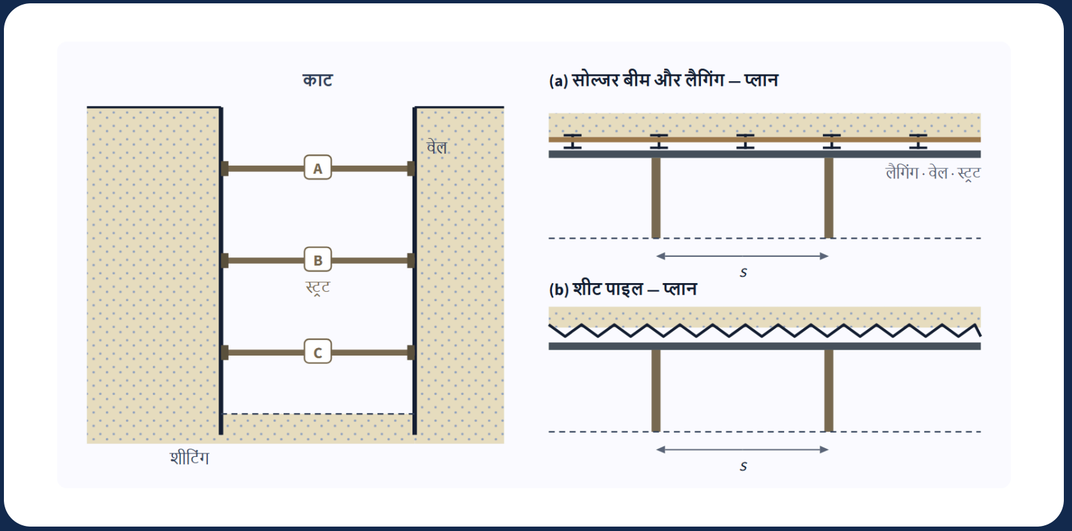
भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · शीट-पाइल दीवारें और ब्रेस किए गए उत्खनन

रेत के ऊपर मृत्तिका: ब्रेस्ड कट

व्याख्यान: एक ही उत्खनन में रेत और मृत्तिका (Peck तुल्य संसंजन); एनवेलप, स्ट्रट भार, शीट-पाइल और वेल का आकार निर्धारण, इस्पात जाँच और आधार उत्थान; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

उत्खनन आलंबन · समतुल्य मृत्तिका (रेत + मृत्तिका) · स्ट्रट · वेल · शीट-पाइल · EN 1993 · AISC 360 · आधार उत्थान



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

ब्रेस्ड कट में दाब **Rankine क्यों नहीं होता** और एनवेलप कैसे बनाए जाते हैं; मृत्तिका एनवेलप ($\gamma H/c$ के साथ)

उत्खनन के रेत और मृत्तिका से गुज़रने पर Peck का **समतुल्य संसंजन** c_{av} और γ_a; $\gamma_a H/c_{av}$ से एनवेलप का चयन

National Plaza (Chicago) उत्खनन में **एक से अधिक मृत्तिकाओं** का पहले मोटाई के अनुसार औसत निकालना और फिर रेत के साथ संयोजित करना

अधिभार को एनवेलप के साथ जोड़ना; एनवेलप से **स्ट्रट भार**, **शीट-पाइल** और **वेल** का आकार निर्धारण

इस्पात का **EN 1993-1-1 और AISC 360-22** से सत्यापन; परतदार प्रोफ़ाइल में **आधार उत्थान** की जाँच

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

उदाहरण उत्खनन: शीर्ष पर 3 m रेत (γ = 17 kN/m³, φ' = 30°), उसके नीचे मृत्तिका (γ = 18 kN/m³, c = 35 kPa); H = 7.00 m, B = 6.00 m; स्ट्रट 1.00 · 3.50 · 6.00 m गहराई पर, क्षैतिज अंतराल s = 3.00 m। बल दीवार के प्रति मीटर के लिए हैं (स्ट्रट भार s से गुणित)।

सपोर्ट प्रणाली और उसके घटक

सिद्धांत

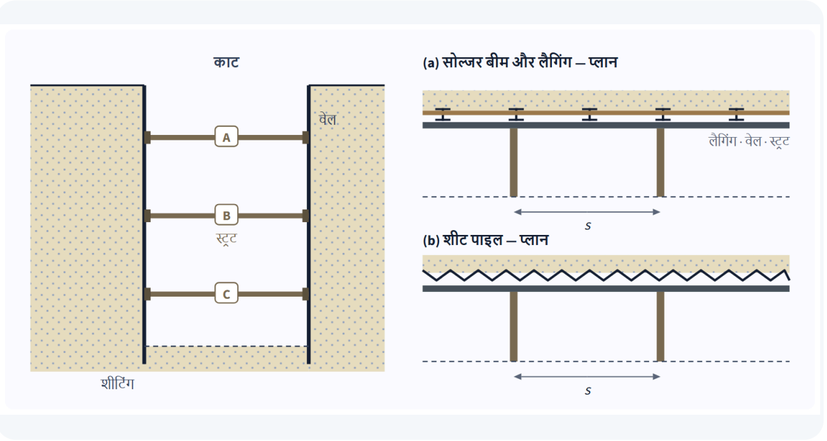
ऊर्ध्वाधर फलक वाले गहरे उत्खनन (शहरी तहखाना, कट-एंड-कवर सुरंग) को एक अस्थायी **सहारा प्रणाली** द्वारा खुला रखा जाता है। दो व्यवस्थाएँ प्रचलित हैं: पहले से ठोकी गई **ऊर्ध्वाधर पाइलों** (इस्पात या लकड़ी की) के बीच उत्खनन आगे बढ़ने के साथ क्षैतिज लकड़ी की लैगिंग लगाई जाती है; या आपस में फँसने वाली **शीट-पाइलें** एक सतत दीवार बनाती हैं।

प्रत्येक आलंबन स्तर पर उत्खनन के उस स्तर तक पहुँचते ही क्षैतिज **वेल** स्थापित किए जाते हैं; **स्ट्रट** वेल से वेल तक उत्खनन को पार करने वाले, संपीडन वहन करने वाले क्षैतिज इस्पात अवयव हैं।

अवयवों के चयन के लिए आलंबन प्रणाली द्वारा वहन किया जाने वाला पार्श्व दाब आवश्यक है। सिद्धांत कुल प्रणोद देता है, उसका **वितरण** नहीं: वितरण मृदा, कार्य के क्रम और गति, कार्य-दल और उपकरण पर निर्भर करता है।

इसलिए डिज़ाइन दाब **आनुभविक एनवेलप** हैं: वास्तविक उत्खननों में मापे गए स्ट्रट भारों से पश्च-गणना किए गए दाबों के चारों ओर खींचे जाते हैं।

निर्माण में स्ट्रट का ऊर्ध्वाधर अंतराल कम से कम लगभग 2.75 m होना चाहिए।



दीवार के शीर्ष के परितः घूमती है

सिद्धांत

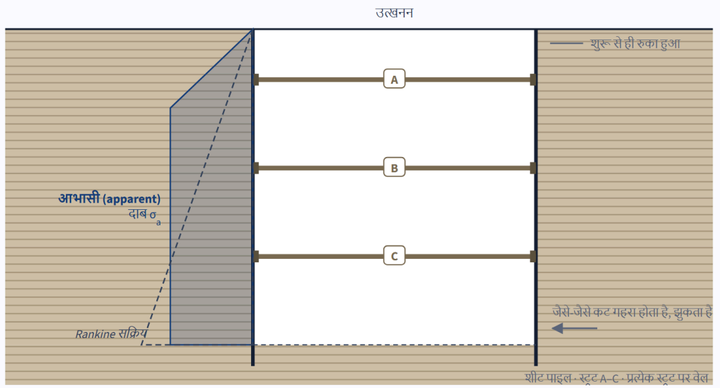
कैंटिलीवर प्रतिधारक दीवार अपने आधार के परितः घूमती है और Rankine सक्रिय दाब (ऊपर शून्य, नीचे अधिकतम) उसका भली-भाँति वर्णन करता है। **ब्रेस्ड दीवार विपरीत दिशा में गति करती है**: पहला स्ट्रट तब लगाया जाता है जब उत्खनन उथला होता है, इसलिए ऊपरी भाग लगभग हिलता ही नहीं; इसके बाद प्रत्येक चरण स्ट्रट लगाए जाने से पहले खोदा जाता है और बीच का समय गहराई के साथ बढ़ता जाता है, जिससे दीवार क्रमशः और नीचे के बिंदु से झुकती जाती है: उत्खनन पूरा होने पर वह **अपने शीर्ष के परितः घूम चुकी होती है**।

ऊपरी भाग में दाब **विराम मान** के निकट रहता है (मृदा बहुत कम गतिमान हुई है)।

नीचे दाब Rankine सक्रिय मान से भी कम हो सकता है (मृदा प्लास्टिक साम्यावस्था को बहुत पहले पार कर चुकी है)।

परिणामी प्रणोद P_a त्रिभुज के एक-तिहाई बिंदु से **ऊपर** कार्य करता है: आधार से n_aH ऊँचाई पर, $n_a > 1/3$।

कुल थ्रस्ट लघुगणकीय सर्पिल वेज से ज्ञात किया जाता है ($r = r_o e^{\theta \tan \varphi'}$); कणिकीय मृदा में यह Coulomb के मान से 15–20% अधिक होता है। परंतु इसका वितरण और n_a मृदा तथा निर्माण स्थल पर निर्भर होने के कारण उत्खननों का डिज़ाइन **एनवेलप** से किया जाता है।



एनवेलप कैसे बनाए गए?

सिद्धांत

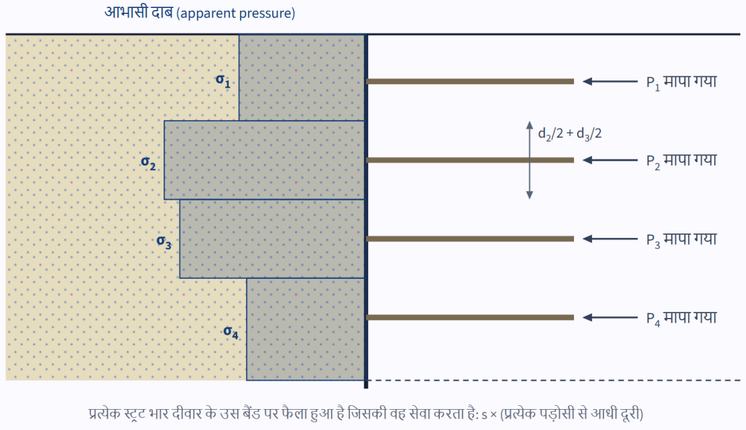
दाब एक स्थान से दूसरे स्थान पर बदलता है और प्रत्येक स्ट्रट को उस **अधिकतम भार** के लिए डिज़ाइन किया जाना चाहिए जिसका उसे सामना करना पड़ सकता है। एनवेलप इसी उद्देश्य से बनाए जाते हैं: उपकरण लगे (इंस्ट्रुमेंटेड) उत्खनन में प्रत्येक स्ट्रट का भार मापा जाता है, उसे स्ट्रट द्वारा सँभाली गई दीवार-पट्टी के क्षेत्र से भाग दिया जाता है (क्षैतिज अंतराल s × ऊपर और नीचे के स्ट्रट से दूरियों का आधा) और इस पट्टी पर वह **आभासी दाब** में बदल दिया जाता है:

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{s\left(d_1 + \frac{d_2}{2}\right)} \qquad \sigma_i = \frac{P_i}{s\left(\frac{d_i}{2} + \frac{d_{i+1}}{2}\right)}$$

d_1 पहले स्ट्रट की गहराई है, d_i आगामी स्ट्रटों के बीच की दूरियाँ हैं। एक के ऊपर एक खींचे गए सभी आरेखों का एनवेलप एक **आभासी दाब एनवेलप** है।

Peck के एनवेलप Berlin, Munich और New York मेट्रो उत्खननों में मापे गए रेत भारों पर आधारित हैं; उन्होंने नरम–मध्यम और कठोर मृत्तिकाओं के लिए भी उसी विधि से इन्हें बनाया।

एनवेलप दीवार पर किसी भी क्षण कार्य करने वाला दाब **नहीं** है: किसी स्ट्रट के लिए उससे लिया गया भार इस प्रकार खींचा गया है कि वह मापे गए भारों के सुरक्षित पक्ष में रहे।



मृदु–मध्यम अथवा दृढ़: γH/c

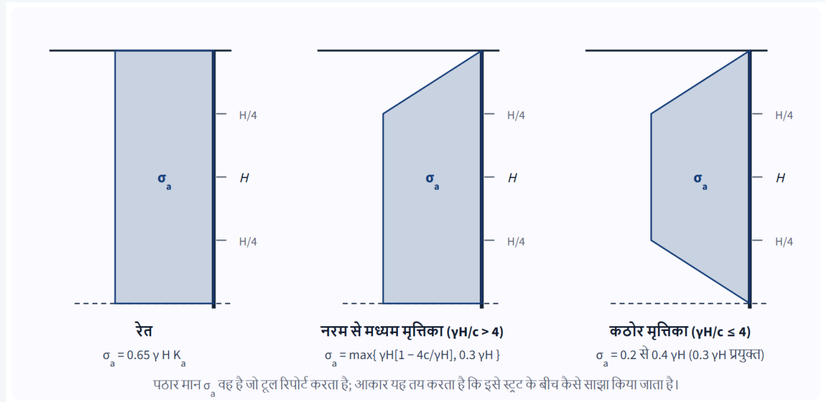
सिद्धांत

मृत्तिका में एनवेलप का आकार **स्थिरता संख्या γH/c** से निर्धारित होता है (c अनपवाहित संसंजन, φ = 0)। γH/c > 4 वाली **कोमल–मध्यम मृत्तिका** उत्खनन द्वारा अपनी सामर्थ्य से बहुत आगे तक चलाई जाती है; **कठोर मृत्तिका** अपने प्रत्यास्थ परिसर के अधिक निकट होती है:

$$\frac{\gamma H}{c} > 4: \quad \sigma_a = \max\left(\gamma H\left[1 - \frac{4c}{\gamma H}\right], 0.3\gamma H\right) \qquad \frac{\gamma H}{c} \le 4: \quad \sigma_a \approx 0.3\gamma H$$

मुलायम–मध्यम मृत्तिका का एनवेलप सतह पर शून्य है, ऊपरी चौथाई में बढ़ता है, आधार तक स्थिर पठार बनाता है; कठोर मृत्तिका का एनवेलप ऊपरी चौथाई में बढ़ता है, मध्य आधे में स्थिर रहता है और निचली चौथाई में शून्य पर लौट आता है। दोनों व्यंजकों में से बड़ा मान निर्धारक होता है।

शर्तें: उत्खनन गहराई ≳ 6 m; जल उत्खनन के तल से नीचे; मृत्तिका अनपवाहित (रंध्र जल दाब को हिसाब में नहीं लिया जाता)।



Peck का तुल्य संसंजन

सिद्धांत

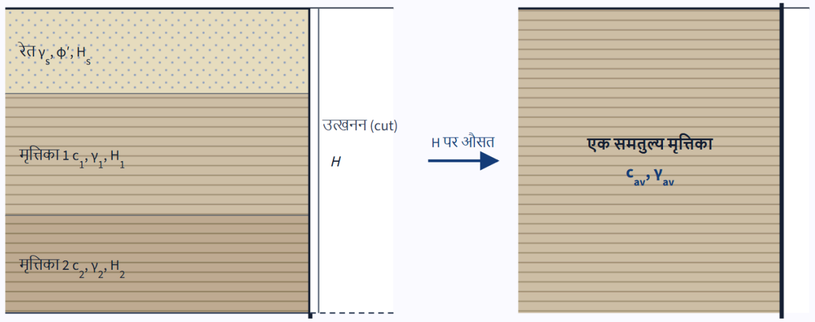
यदि उत्खनन में रेत और मृत्तिका दोनों हों, तो Peck ने प्रोफ़ाइल को **एकल मृत्तिका** से बदला है: यह ऊँचाई के अनुदिश मृदा द्वारा संघटित की जा सकने वाली सामर्थ्य का औसत लेता है। रेत अपने भार का घर्षण योगदान देती है, मृत्तिका अपनी अपरिबद्ध संपीडन सामर्थ्य (प्रगामी विफलता के लिए घटाई हुई) जोड़ती है:

$$c_{av} = \frac{1}{2H}\left[\gamma_s K_s H_s^2 \tan\varphi'_s + (H - H_s)\, n' q_u\right] \qquad \gamma_a = \frac{1}{H}\left[\gamma_s H_s + (H - H_s)\gamma_c\right]$$

H_s, γ_s, φ'_s: रेत की ऊँचाई, इकाई भार और प्रभावी घर्षण कोण; K_s रेत का पार्श्व दाब गुणांक (≈ 1); $q_u = 2c$ मृत्तिका की अनिरुद्ध संपीडन सामर्थ्य, γ_c उसका संतृप्त इकाई भार; n' प्रगामी विफलता गुणांक, 0.5–1.0 (औसत 0.75)।

c_{av} और γ_a के साथ मृत्तिका एनवेलप पूरी ऊँचाई पर लागू किए जाते हैं; एनवेलप का चयन $\gamma_a H/c_{av}$ से होता है।

रेत के नीचे कई मृत्तिका परतें हों तो स्रोत पहले उनका मोटाई के अनुसार औसत लेता है ($c_{av} = \Sigma c_i H_i / \Sigma H_i$, γ_{av}), फिर इस समतुल्य मृत्तिका को रेत के साथ जोड़ता है (National Plaza प्रकरण की तरह)।



रेत: स्व-भार घर्षण $\gamma K_s H_s^2 \tan\varphi'$ · मृत्तिका: $n' q_u H$ · दोनों का ऊंचाई पर योग किया गया, फिर मृत्तिका का नियम लागू होता है

प्रश्न

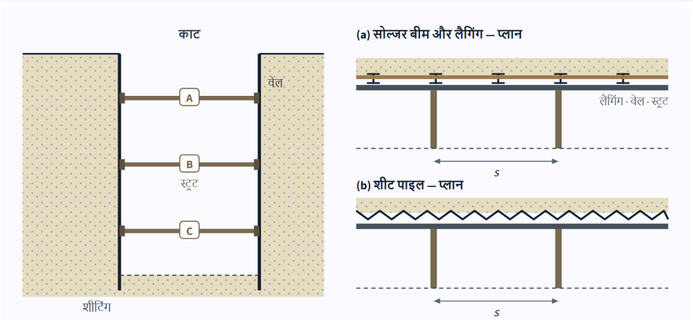
उदाहरण

दिया गया है

प्रोफ़ाइल	**ऊपर** $H_s = 3$ **m रेत (**$\gamma_s = 17$ **kN/m³,** $\varphi'_s = 30^\circ$ **,** $K_s = 1$**), उसके नीचे मृत्तिका (**$\gamma_c = 18$ **kN/m³,** $c = 35$ **kPa)**
उत्खनन और गुणांक	$H = 7.0$ **m;** $n' = 0.75$ **(औसत); साथ ही** $n' = 0.5$ **और** 1.0

ज्ञात करना है

c_{av}, γ_a, $\gamma_a H/c_{av}$, एनवेलप का प्रकार और σ_a; n' में परिवर्तन के साथ परिणाम।



हल (1/2)

हल

1 समतुल्य संसंजन और इकाई भार (n′ = 0.75)

$$c_{av} = \frac{1}{2(7)}\left[17(1)(3)^2\tan 30^\circ + (7-3)(0.75)(2\cdot 35)\right] = \frac{88.33+210.0}{14} = \mathbf{21.31}\ \text{kPa}$$

$$\gamma_a = \frac{17(3)+(7-3)18}{7} = \mathbf{17.57}\ \text{kN/m}^3 \qquad \frac{\gamma_a H}{c_{av}} = \frac{17.57(7)}{21.31} = \mathbf{5.77} > 4$$

समतुल्य मृत्तिका: c_{av} = **21.31 kPa**, γ_a = 17.57 kN/m³; $\gamma_a H/c_{av}$ = **5.77** > 4 → मुलायम–मध्यम मृत्तिका एनवेलप।

हल (2/2)

हल

2 मृदु–मध्यम मृत्तिका एनवेलप और n′ संवेदनशीलता

$$\sigma_a = \gamma_a H \left[1 - \frac{4c_{av}}{\gamma_a H}\right] = 17.57(7) - 4(21.31) = \mathbf{37.75}\ \text{kPa}$$

n′	c_{av} (kPa)	$\gamma_a H/c_{av}$	σ_a (kPa)	P_{max} (kN)
0.50	16.31	7.54	57.75	424.5
0.75	21.31	5.77	37.75	277.5
1.00	26.31	4.67	36.90	271.2

समतुल्य मृत्तिका: c_{av} = **21.31 kPa**, $\gamma_a H/c_{av}$ = 5.77 > 4: नरम–मध्यम मृत्तिका एनवेलप, **σ_a = 37.75 kPa**। n′ = 0.5 लेने पर c_{av} घटकर 16.31 रह जाता है और σ_a बढ़कर 57.8 kPa हो जाता है: प्रगामी विफलता गुणांक परिणाम को बहुत प्रभावित करता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

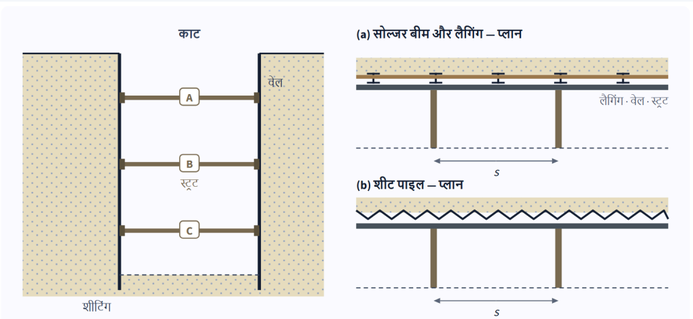
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	$H = 70$ ft $= 21.34$ m **गहरा, छह स्ट्रट; 13 ft रेत भराव के नीचे चार मृत्तिका परतें (नीचे तालिका, SI)**
गुणांक	$K_s = 1,\ \varphi'_s = 30^\circ,\ n' = 0.75$

ज्ञात करना है

मृत्तिका का मोटाई-भारित औसत $c_{av,clay}$; c_{av}, γ_{av}, $\gamma H/c$ और σ_a।



हल (1/2)

हल

1 प्रोफ़ाइल (SI) और मृत्तिका का मोटाई-भारित औसत

परत	मोटाई (m)	γ (kN/m³)	c (kPa)	योगदान पद (kN/m)
रेत भराव	3.96	17.28	—	156.6
मृत्तिका 1	10.06	19.95	19.2	289.0
मृत्तिका 2	3.35	20.42	33.5	168.6
मृत्तिका 3	1.83	21.21	95.8	262.7
मृत्तिका 4	2.13	21.21	191.5	612.9

$$c_{av,clay} = \frac{\Sigma c_i H_i}{\Sigma H_i} = \mathbf{51.16}\ \text{kPa}$$

चारों मृत्तिकाओं का मोटाई-भारित औसत **51.16 kPa** है; रेत पद $\gamma_s K_s H_s^2 \tan\varphi'_s = 156.6$, मृत्तिका पद $n' q_u \Sigma H_i = 1{,}333.2$ kN/m l

हल (2/2)

हल

2 समतुल्य संसंजन, इकाई भार और एनवेलप

$$c_{av} = \frac{\gamma_s K_s H_s^2 \tan\varphi'_s + n' q_u \Sigma H_i}{2H} = \frac{156.6 + 1{,}333.2}{2(21.34)} = \mathbf{34.91}\ \text{kPa}$$

$$\gamma_{av} = \frac{\Sigma \gamma_i H_i}{H} = \mathbf{19.76}\ \text{kN/m}^3 \qquad \frac{\gamma_{av} H}{c_{av}} = \frac{19.76(21.34)}{34.91} = \mathbf{12.08} > 4$$

$$\sigma_a = \gamma_{av} H \left[1 - \frac{4c_{av}}{\gamma_{av} H}\right] = \mathbf{282.0}\ \text{kPa}$$

नरम–मध्यम मृत्तिका एनवेलप लागू किया जाता है: **σ_a = 282.0 kPa** (c_{av} = 34.91 kPa, γ_{av} = 19.76 kN/m³, $\gamma_{av}H/c_{av}$ = 12.08)। इस एनवेलप की प्रेक्षित वेल भारों से तुलना “वास्तविक उत्खननों में एनवेलप” खंड में दी गई है (Peck एनवेलप ≈ 1.8 गुना)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एनवेलप के साथ जोड़ा जाता है

सिद्धांत

अधिभार q एनवेलप में सम्मिलित नहीं होता (अनुभवजन्य गुणांक उस पर भी लागू हो जाते); यह पूरी ऊँचाई पर अपने ही एकसमान दाब के रूप में वहन किया जाता है, और अनपवाहित मृत्तिका में $K_a = 1$: $\Delta p_q = q$।

जल: मृत्तिका के एनवेलप अनपवाहित, कुल प्रतिबल पर आधारित रचनाएँ हैं; मृत्तिका में जल पहले से ही इकाई भार और अनपवाहित सामर्थ्य में सम्मिलित है। तल के ऊपर का जल आरेख में दर्शाया और टिप्पणी के रूप में दर्ज किया जाता है, उसे अलग भार के रूप में नहीं जोड़ा जाता; वह केवल मृदा के भार को बदलता है: जल के नीचे संतृप्त इकाई भार, और जिस परत को जल-स्तर काटता है उसमें दोनों मानों का मोटाई-भारित औसत।

रेत परत की मोटाई समतुल्य मृत्तिका को निर्धारित करती है, इसलिए प्रोफ़ाइल का **परत क्रम** परिणाम को सीधे प्रभावित करता है: रेत के मोटी होने पर c_{av} बदलता है (नीचे उदाहरण)।

$$\Delta p_q = K_a q = q \;\; (\varphi = 0 \Rightarrow K_a = 1)$$

$$\gamma = \frac{\gamma z_w + \gamma_{sat}(H - z_w)}{H}$$

प्रश्न

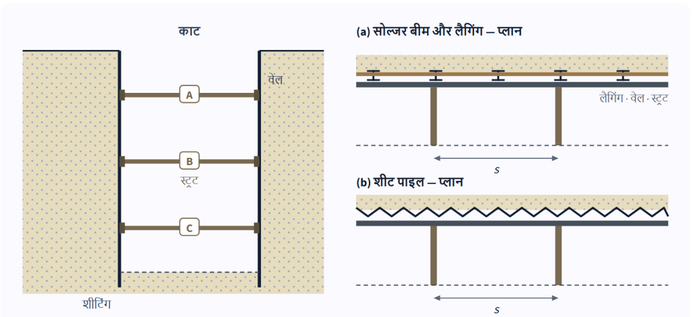
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**उदाहरण 1 का उत्खनन ($H = 7$ m, $n' = 0.75$): रेत 3 m (प्रारंभिक)**
परिवर्तन	**(a) रेत 5 m मोटी (मृत्तिका 2 m); (b) अधिभार $q = 10$ kPa**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में c_{av}, $\gamma_a H/c_{av}$, σ_a, कुल भार R और अधिकतम स्ट्रट भार।



हल (1/2)

हल

1 (a) रेत 5 m: समतुल्य मृत्तिका पुनः समेकित

$$c_{av} = \frac{1}{14}\left[17(5)^2 \tan 30^\circ + (2)(0.75)(70)\right] = 25.03 \text{ kPa}$$

$$\gamma_a = \frac{17(5) + 2(18)}{7} = 17.29 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_a = \max\left(\gamma_a H - 4c_{av},\ 0.3\gamma_a H\right) = \max(20.91, 36.31) = \mathbf{36.31} \text{ kPa}$$

रेत 5 m होने पर समतुल्य संसंजन 21.3 → **25.0 kPa** हो जाता है और एनवेलप को **$0.3\gamma_a H$ = 36.3 kPa** निर्धारित करता है।

हल (2/2)

हल

2 (b) अधिभार: अलग से $\Delta p_q = q = 10$ kPa; तीन स्थितियों का सारांश

स्थिति	c_{av} (kPa)	γ_a (kN/m³)	$\gamma_a H/c_{av}$	σ_a (kPa)	R (kN/m)	P_{max} (kN)
प्रारंभिक (रेत 3 m)	21.31	17.57	5.77	37.75	231.2	277.5
(a) रेत 5 m	25.03	17.29	4.84	36.31	222.4	266.9
(b) q = 10 kPa	21.31	17.57	5.77	37.75	301.2	351.0

रेत की मोटाई बढ़ने पर c_{av} 21.3 → 25.0 kPa हो जाता है और एनवेलप 37.8 → **36.3 kPa** पर आ जाता है (घर्षणयुक्त रेत मृत्तिका से अधिक सामर्थ्य जोड़ती है; अब $0.3\gamma_a H$ पद निर्णायक होता है)। अधिभार एनवेलप को नहीं छूता: वह केवल $\Delta p_q = 10$ kPa जोड़ता है (R 231.2 → 301.2 kN/m)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एनवेलप से स्ट्रट भार तक

सिद्धांत

स्ट्रट क्षैतिज स्तंभ हैं: दाब को अपनी अक्षों के अनुदिश वहन करते हैं, अपने स्वयं के भार से झुकते हैं; क्षमता कृशता पर निर्भर करती है, चौड़े उत्खननों में अतिरिक्त आलंब की आवश्यकता पड़ सकती है। स्रोत भार के लिए सरल और सुरक्षित-पक्षीय विधि देता है:

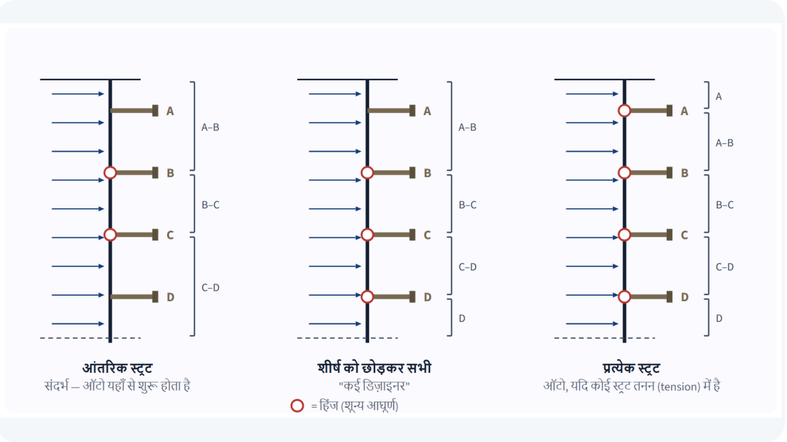
दाब एनवेलप और स्ट्रट स्तर बनाएँ। शीट-पाइल को सबसे ऊपर और सबसे नीचे वाले को छोड़कर **प्रत्येक स्ट्रट स्तर पर हिंजित** मानें (अनेक डिज़ाइनर सबसे ऊपर वाले को छोड़कर सभी पर)।

दीवार को हिंजों पर **सिरों पर सरल कैंटिलीवर में और बीच में सरल बीम में** विभाजित करें; प्रत्येक भाग की प्रतिक्रियाएँ स्थैतिकी से ज्ञात करें (चार स्ट्रट वाले उत्खनन में A, B_1, B_2, C_1, C_2, D)।

एक स्ट्रट का भार, उसे प्राप्त प्रतिक्रियाओं के योग × क्षैतिज अंतराल s के बराबर होता है।

$$P_A = A\,s \quad P_B = (B_1 + B_2)\,s \quad P_C = (C_1 + C_2)\,s \quad P_D = D\,s$$

प्रत्येक खंड स्थैतिक रूप से निर्धार्य है: वह दो आलंब वहन करता है; किसी एक आलंब के सापेक्ष आघूर्ण और क्षैतिज बल का संतुलन दोनों को दे देता है। हिंज पर स्थित आलंब दोनों पक्षों का होने के कारण **दो प्रतिक्रियाएँ** एकत्र करता है। प्रतिक्रियाएँ दीवार की प्रति इकाई लंबाई (kN/m) के लिए हैं; s उन्हें आलंब भार में बदल देता है।



प्रश्न

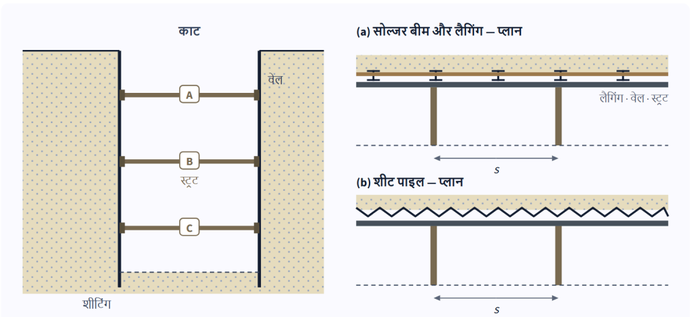
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	$H = 7.00$ m; $B = 6$ m; **स्ट्रट** $z = 1.00, 3.50, 6.00$ m (A, B, C); **क्षैतिज अंतराल** $s = 3.00$ m
दाब	**उदाहरण 1: समतुल्य मृत्तिका, मृदु–मध्यम एनवेलप** $\sigma_a = 37.75$ kPa **(ऊपरी चतुर्थांश में बढ़ता है, आधार तक स्थिर); शीट-पाइल स्ट्रट B पर हिंज वाली है (सबसे ऊपरी और सबसे निचले को छोड़कर)**

ज्ञात करना है

भागों का **परिणामी W** और उसकी भुजा **z̄**; प्रतिक्रियाएँ **A, B_1, B_2, C**; स्ट्रट भार **P_A, P_B, P_C**।



हल (1/2)

हल

1 एनवेलप को हिंज बिंदुओं पर भागों में बाँटें; प्रत्येक भाग का परिणामी बल और भुजा (ऊपरी सतह से गहराई)

खंड	परास (m)	W (kN/m)	z̄ (m)	सहारे
1	0.00 – 3.50	99.09	2.139	A (z = 1.00), B (z = 3.50)
2	3.50 – 7.00	132.12	5.250	B (z = 3.50), C (z = 6.00)

2 पहला भाग: पहले आलंब के परितः आघूर्ण संतुलन

$$R_{B_2} = \frac{W(\bar{z} - z_A)}{z_B - z_A} = \frac{99.09(2.139 - 1.00)}{3.50 - 1.00} = \mathbf{45.14} \qquad R_A = W - R_{B_2} = \mathbf{53.95}\ \text{kN/m}$$

पहला खंड दोनों आलंबों को क्रमशः 53.95 और 45.14 kN/m से वहन करता है; सबसे ऊपरी स्ट्रट (A) की प्रतिक्रिया अधिक है, क्योंकि उसमें कैंटिलीवर भाग का भार भी सम्मिलित है।

हल (2/2)

हल

3 दूसरा भाग

$$R_C = \frac{W(\bar{z} - z_B)}{z_C - z_B} = \frac{132.12(5.250 - 3.50)}{6.00 - 3.50} = \mathbf{92.49} \qquad R_{B_1} = W - R_C = \mathbf{39.64}\ \text{kN/m}$$

4 प्रत्येक स्ट्रट अपने द्वारा प्राप्त अभिक्रियाओं को जोड़ता है; भार = कुल × s (s = 3.00 m)

स्तर	z (m)	प्राप्त प्रतिक्रियाएँ (kN/m)	कुल (kN/m)	P = R·s (kN)
A	1.00	53.95	53.95	**161.85**
B	3.50	45.14 + 39.64	84.78	**254.34**
C	6.00	92.49	92.49	**277.47**

अधिकतम स्ट्रट भार **P_C = 277.47 kN** (स्तर C): यही भार स्ट्रट के आकार को निर्धारित करता है। चूँकि स्ट्रट B दो भागों से संबंधित है, इसमें दो प्रतिक्रियाएँ जुड़ती हैं।

अधिकतम आघूर्ण और आवश्यक काट मापांक

सिद्धांत

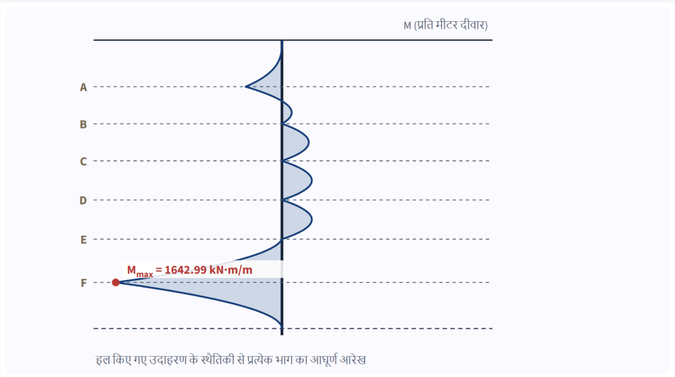
शीट-पाइल का डिज़ाइन इन्हीं खंडों से किया जाता है: प्रत्येक खंड में अधिकतम बंकन आघूर्ण (जहाँ अपरूपण बल चिह्न बदलता है: स्पैन के भीतर या उस आलंब पर जहाँ कैंटिलीवर भाग स्ट्रट से मिलता है) ज्ञात किया जाता है; इनमें सबसे बड़ा दीवार की प्रति इकाई लंबाई के लिए डिज़ाइन आघूर्ण होता है। आवश्यक काट मापांक (Section modulus) अनुमेय बंकन प्रतिबल से प्राप्त होता है और तालिका से कम से कम उस मान की एक काट चुनी जाती है:

$$M_{max} = \max_{parts} |M| \qquad S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}}$$

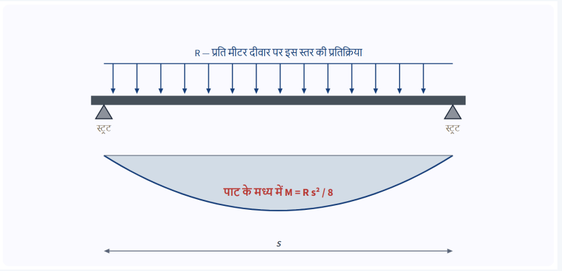
वेल उचित रूप से जोड़े जाएँ तो सतत माने जा सकते हैं; सुरक्षित पक्ष के लिए स्ट्रटों पर **हिंजित** लिया जाता है: s विस्तार की सरल आलंबित बीम, स्तर की प्रतिक्रिया R (दीवार की इकाई लंबाई पर) वितरित भार के रूप में:

$$M_{max} = \frac{R\,s^2}{8} \qquad S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}}$$

सबसे बड़ी प्रतिक्रिया वाला स्तर निर्णायक होता है। वेल कभी-कभी शीट-पाइल से उन बिंदुओं पर जोड़े जाते हैं जो उन्हें आवश्यक पार्श्व आलंब प्रदान करें।



हल किए गए उदाहरण के स्थेतिकी से प्रत्येक भाग का आघूर्ण आरेख



प्रश्न

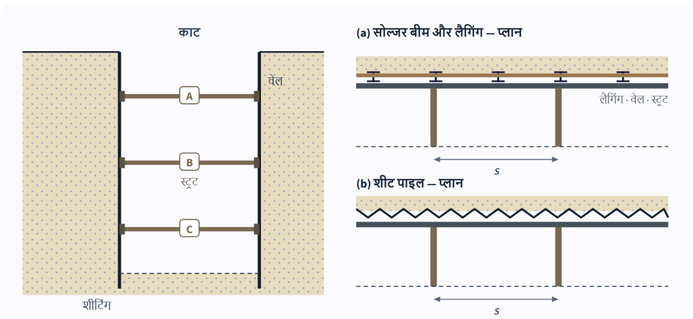
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**उदाहरण 1 का उत्खनन ($H = 7$ m, समतुल्य मृत्तिका, $\sigma_a = 37.75$ kPa); स्ट्रट 1.0 · 3.5 · 6.0 m पर; $s = 3.0$ m; B पर हिंज**
स्टील	**अनुमेय बंकन प्रतिबल $\sigma_{allow} = 170\,000$ kPa**

ज्ञात करना है

शीट-पाइल का M_{max} और आवश्यक **S** (cm³/m); सबसे बड़ी प्रतिक्रिया वाले स्तर पर वेल का M_{max} और **S** (cm³)।



हल (1/2)

हल

1 शीट-पाइल: प्रत्येक भाग का अधिकतम आघूर्ण

खंड	परास (m)	M_{max} (kN·m/m)	स्थान z (m)
1	0.00 – 3.50	26.99	2.30
2	3.50 – 7.00	20.81	4.55

2 आवश्यक काट मापांक (Section modulus)

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}} = \frac{26.99}{170{,}000} = 0.0001588\ \text{m}^3/\text{m} = \mathbf{158.8}\ \text{cm}^3/\text{m}$$

शीट-पाइल में **M_{max} = 26.99 kN·m/m** (खंड 1, z = 2.30 m): **S ≥ 158.8 cm³/m**।

हल (2/2)

हल

3 वेल: प्रत्येक स्तर पर सरल बीम (s = 3.000 m)

स्तर	R (kN/m)	M = R s²/8 (kN·m)	S = M/σ_{allow} (cm³)
A	53.95	60.69	357
B	84.78	95.38	561
C	92.49	104.05	612

सबसे बड़ी प्रतिक्रिया **स्तर C पर** है (R = 92.49 kN/m): वेल का आकार निर्धारण **M_{max} = 104.05 kN·m, S ≥ 612 cm³** से होता है; अन्य स्तरों के वेल छोटे हो सकते हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

डिज़ाइन प्रभाव, श्रेणी, बंकन और बकलन

सिद्धांत

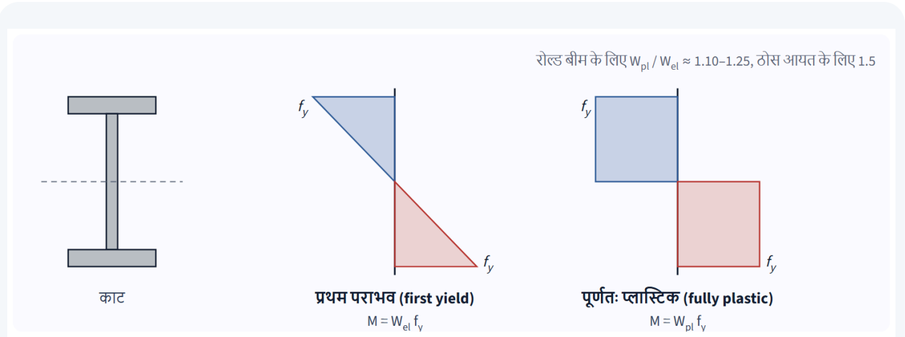
एनवेलप से प्राप्त भार **कार्यशील मान** हैं (Peck एनवेलप मापे गए भारों की ऊपरी सीमा है); इन्हें एक ही बार डिज़ाइन मान तक बढ़ाया जाता है: $E_d = \gamma_F E_k$। प्रत्येक अवयव को उसके अपने इस्पात ग्रेड की पराभव सामर्थ्य (f_y) के साथ सत्यापित किया जाता है; काट को अवयव के **काट मापांक** द्वारा दिया जाता है (शीट-पाइल: प्रति मीटर W_{el}; वेल: W; स्ट्रट: A तथा दुर्बल अक्ष पर I)।

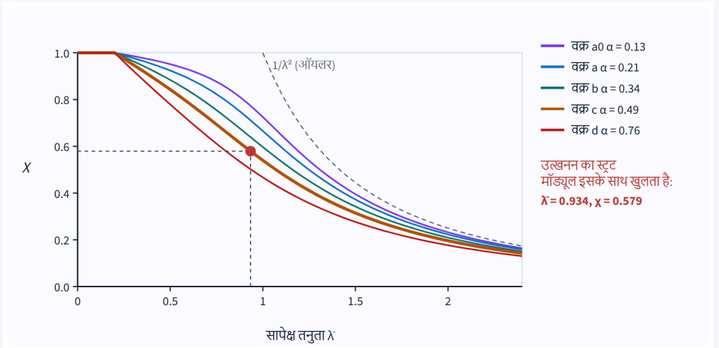
$$M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}} \qquad \eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \le 1 \qquad W = W_{pl}\ (\text{श्रेणी } 1\text{–}2),\ W_{el}\ (\text{श्रेणी } 3)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \qquad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \qquad \Phi = 0.5\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2\right] \qquad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \le 1 \qquad N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

स्ट्रट अपनी कमज़ोर धुरी पर बकलित होता है: I छोटा जड़त्व आघूर्ण है, $L_{cr} = K\,L_b$ प्रभावी लंबाई है (उत्खनन चौड़ाई, यदि बीच से किंग पाइल या क्रॉस ब्रेसिंग नहीं गुज़र रही हो)। α बकलन वक्र से प्राप्त होता है (वक्र c: 0.49)।

शीट-पाइल के लिए यही प्रतिरोध प्रति इकाई चौड़ाई लागू होता है (EN 1993-5; U-प्रोफ़ाइल में इंटरलॉक फिसलन β_B, Z-प्रोफ़ाइल में 1.0)। वेल का संपीडन फ़्लेंज दीवार से टिका होने के कारण पार्श्व मरोड़ी बकलिंग निर्णायक नहीं है।





प्रश्न

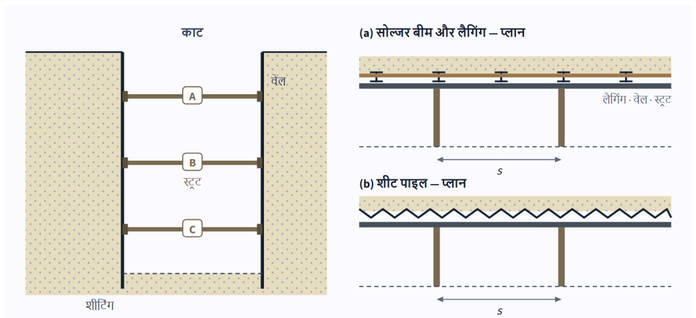
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1 का उत्खनन और उदाहरण 4 के भार:** $P_{max} = 277.47$ **kN**
अवयव	**S275 (**$f_y = 275$ **MPa),** $\gamma_F = 1.35$**,** $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1.00$**: शीट-पाइल** $W_{el} = 600$ **cm³/m; वेल** $W_{el,y} = 1\,000$ **cm³; स्ट्रट** $A = 65.7$ **cm²,** $I = 3\,598$ **cm⁴, वक्र c,** $L_{cr} = 6.00$ **m**

ज्ञात करना है

शीट-पाइल, सर्वाधिक भारित वेल और सर्वाधिक भारित स्ट्रट के लिए **η** (≤ 1)।



हल (1/2)

हल

1 शीट-पाइल और वेल (बंकन): $\eta = \gamma_F M/(W f_y)$

$$\eta_{sp} = \frac{1.35(26.99)}{600 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{36.44}{165.0} = \mathbf{0.221}$$

$$\eta_{belt} = \frac{1.35(104.05)}{1\,000 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{140.47}{275.0} = \mathbf{0.511}$$

शीट-पाइल η = **0.221**, वेल η = **0.511**: दोनों पर्याप्त हैं ($\eta \le 1$)।

हल (2/2)

हल

2 स्ट्रट (बकलिंग): $N_{Ed} = 1.35\,P_{max} = 1.35(277.47) = 374.58$ kN

$$N_{cr} = \frac{\pi^2(210\,000\,000)(3\,598 \cdot 10^{-8})}{6.00^2} = 2{,}071.5 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,806.8}{2{,}071.5}} = 0.9339$$

$$\Phi = 0.5\left[1 + 0.49(0.9339 - 0.2) + 0.9339^2\right] = 1.1159$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.5791 \quad N_{b,Rd} = \chi A f_y = 1{,}046.4 \text{ kN}$$

$\eta_{strut} = 374.6 / 1{,}046.4 =$ **0.358**। तीनों अवयव पर्याप्त हैं ($\eta \le 1$); स्ट्रट में **बकलिंग** निर्णायक है ($N_{c,Rd} = 1{,}806.8$ kN, $N_{b,Rd} = 1{,}046.4$ kN)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

LRFD या ASD; वर्ग, बंकन, अपरूपण, स्तंभ वक्र

सिद्धांत

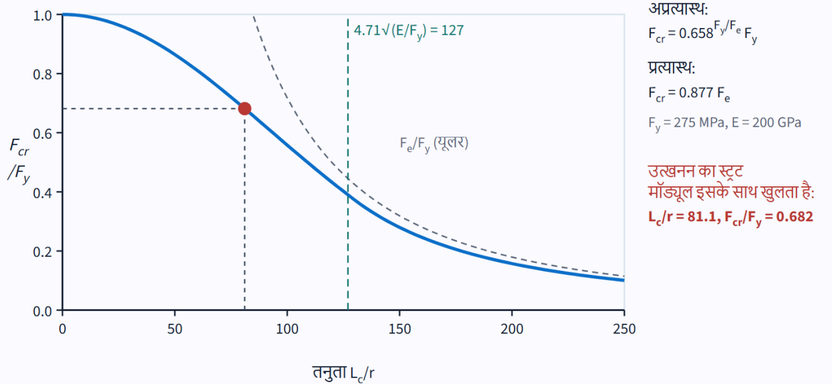
प्रत्येक सदस्य का सत्यापन संपीडन, बंकन और अपरूपण प्रावधानों से प्राप्त **नॉमिनल सामर्थ्य R_n** से किया जाता है। LRFD में भार को गुणित किया जाता है और सामर्थ्य को φ से घटाया जाता है; ASD में कार्यकारी भार की तुलना सामर्थ्य को सुरक्षा गुणांक Ω से भाग देने पर प्राप्त मान से की जाती है:

$$R_u \le \phi R_n \text{ (LRFD)} \qquad R_a \le \frac{R_n}{\Omega} \text{ (ASD)} \qquad P_u = \gamma_H P,\ M_u = \gamma_H M,\ \gamma_H = 1.6$$

एनवेलप से प्राप्त भार ASCE 7-22 के **पार्श्व मृदा दाब H** हैं: LRFD संयोजनों में, जहाँ भी यह भार में जोड़ा जाता है (उत्खनन ब्रेसिंग में सदैव), यह 1.6 के साथ तथा ASD में 1.0 के साथ आता है। मॉड्यूल के साथ दिए गए शीट-पाइल और वेल को मॉड्यूल द्वारा दावा की गई सामर्थ्य के साथ लिया जाता है: कॉम्पैक्ट अवस्था में F_yZ, प्रथम पराभव पर F_yS। चूँकि वेल पार्श्व रूप से दीवार द्वारा रोका गया है, $L_b = 0$ है और पार्श्व-ऐंठन बकलन सीमा अवस्था नहीं है।

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2} \qquad F_{cr} = 0.658^{F_y/F_e} F_y \ \left(\frac{L_c}{r} \le 4.71\sqrt{E/F_y}\right) \qquad \text{अन्यथा } 0.877F_e \qquad P_n = F_{cr} A_g$$

एकल स्तंभ वक्र प्रत्येक काट पर लागू होता है (EN 1993-1-1 की भाँति चुनने के लिए कोई वक्र नहीं); r छोटी घूर्णन त्रिज्या है, $L_c = K L_b$ प्रभावी लंबाई; $L_c/r \le 200$ अनुशंसित है। AISC, EN 1993-1-1 के विपरीत, अपरूपण बल के कारण बंकन सामर्थ्य को कम नहीं करता।



प्रश्न

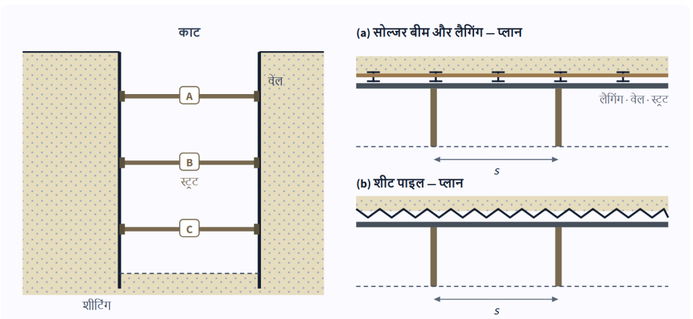
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1 का उत्खनन और उदाहरण 4 के भार:** $P_{max} = 277.47$ **kN**
अवयव	**उदाहरण 6 के सदस्य (S275,** $F_y = 275$ **MPa);** $E = 200$ **GPa; LRFD** $\gamma_H = 1.6$**,** $\phi_c = \phi_b = 0.90$**; ASD** $\Omega_c = 1.67$**,** $\Omega_b = 1.67$ **(**$M_n = F_y S$**)**

ज्ञात करना है

सबसे अधिक भारित स्ट्रट के लिए $\mathbf{L_c/r}$, $\mathbf{F_e}$, $\mathbf{F_{cr}}$, $\mathbf{P_n}$; LRFD और ASD अनुपात; शीट-पाइल और वेल के लिए LRFD अनुपात।



हल (1/2)

हल

1 स्ट्रट: स्तंभ वक्र (A_g = 65.7 cm², r = 7.40 cm, L_c = 6.00 m)

$$\frac{L_c}{r} = \frac{600}{7.40} = 81.1 \;\le 4.71\sqrt{E/F_y} = 127$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2} = \frac{\pi^2(200\,000)}{(81.1)^2} = 300.3 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0.658^{275/300.3}(275) = 187.4 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 187.4 \times 6\,570 \text{ mm}^2 = \mathbf{1{,}231.5} \text{ kN}$$

स्ट्रट पर **नाममात्र सामर्थ्य P_n = 1,231.5 kN**; कृशता अनुपात L_c/r = 81.1, अप्रत्यास्थ बकलिंग क्षेत्र में (सीमा 127)।

हल (2/2)

हल

2 LRFD और ASD अनुपात (P = 277.47 kN)

LRFD: $P_u = 1.6(277.47) = 444.0 \text{ kN} \le \phi_c P_n = 0.90(1{,}231.5) = 1{,}108.3 \text{ kN} \quad \eta = \mathbf{0.401}$

ASD: $P_a = 277.47 \text{ kN} \le \dfrac{P_n}{\Omega_c} = \dfrac{1{,}231.5}{1.67} = 737.4 \text{ kN} \quad \eta = \mathbf{0.376}$

स्ट्रट: LRFD η = **0.401**, ASD η = **0.376**। शीट-पाइल (LRFD) 0.291, वेल 0.673; EN 1993-1-1 में ये 0.221, 0.511 और 0.358 थे।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

नीचे की मृत्तिका भार वहन करती है, बगल की परतें अपरूपण और भार प्रदान करती हैं

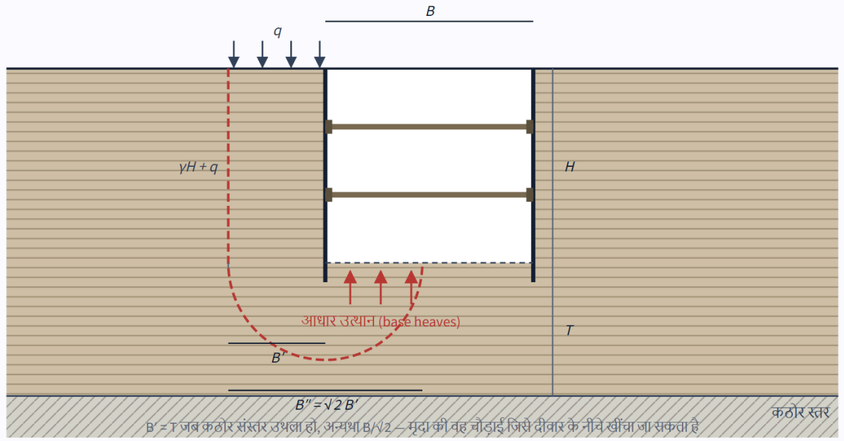
सिद्धांत

उत्खनन का तल मृत्तिका में हो तो पास की मृदा के भार से ऊपर की ओर उभर सकता है (Terzaghi स्तंभ, Chang का संशोधन)। सूत्र समांगी मृत्तिका के लिए व्युत्पन्न किया गया है; मॉड्यूल इसे **परतदार प्रोफ़ाइल में GeoTerva के विस्तार के साथ** उपयोग करता है:

$$FS = \frac{5.14\,c\left(1 + 0.2\dfrac{B''}{L}\right) + \dfrac{c_{side} H}{B'}}{\sigma_v(H) + q} \qquad B' = \min\left(T, \frac{B}{\sqrt{2}}\right),\ B'' = \sqrt{2}\,B'$$

c: आधार के नीचे की मृत्तिका (धारण पद); $\mathbf{c_{side}}$: थामी गई ऊँचाई पर औसत संसंजन (रेत को शून्य माना जाता है; पार्श्व अपरूपण पद); $\boldsymbol{\sigma_v(H)}$: उत्खनन के किनारे पर आधार स्तर पर कुल ओवरबर्डन प्रतिबल ($\Sigma \gamma_i H_i$)।

B उत्खनन चौड़ाई, L प्लान लंबाई, T तल के नीचे की कठोर परत; दीवार के अंतःस्थापन को नहीं गिना जाता (सुरक्षित पक्ष)। अपेक्षित FS **≈ 1.5**।



प्रश्न

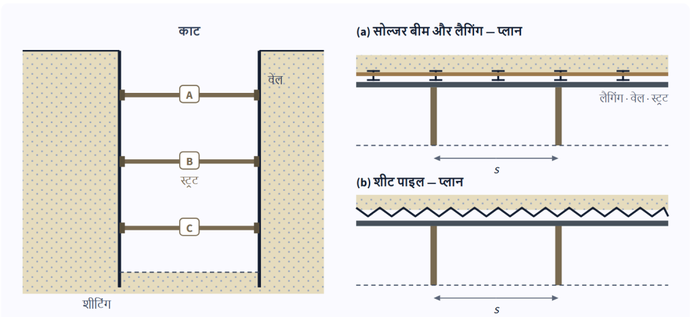
उदाहरण

दिया गया है

खुला उत्खनन	$H = 7$ m, $B = 6$ m, $L = 20$ m, **तल के नीचे मृत्तिका** $T = 4$ m; **ऊपर 3 m रेत** ($\gamma = 17$), **नीचे मृत्तिका** ($\gamma = 18$, $c = 35$ kPa)
तुलना	**यदि रेत 5 m मोटी होती (मृत्तिका 2 m)**

ज्ञात करना है

c_{side}, $\sigma_v(H)$, B' और **FS** (≥ 1.5?); रेत की मोटाई बढ़ने पर FS?



हल

हल

1 बगल की परतों से: औसत संसंजन और ओवरबर्डन प्रतिबल

$$c_{side} = \frac{0\,(3) + 35\,(4)}{7} = \mathbf{20.0}\ \text{kPa}\ \ (\text{रेत शून्य}) \qquad \sigma_v(H) = 17(3) + 18(4) = \mathbf{123}\ \text{kPa}$$

$$B/\sqrt{2} = 4.24\ \text{m} > T = 4\ \text{m} \ \Rightarrow\ B' = 4.00\ \text{m}, \quad B'' = \sqrt{2}B' = 5.66\ \text{m}$$

2 सुरक्षा गुणांक (धारण पद: तल के नीचे मृत्तिका c = 35 kPa)

$$FS = \frac{5.14(35)\left(1 + 0.2\frac{5.66}{20}\right) + \frac{20(7)}{4.00}}{123} = \frac{190.1 + 35.0}{123} = \mathbf{1.83}\ \geq 1.5\ \checkmark$$

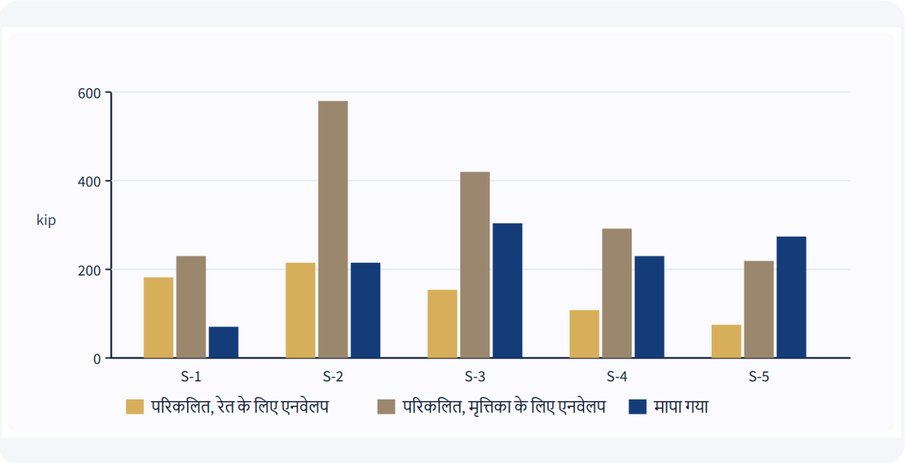
आधार उत्थान सुरक्षा **1.83** (≥ 1.5)। रेत 5 m होने पर पार्श्व संसंजन 10 kPa तक गिर जाता है, ओवरबर्डन प्रतिबल 121 kPa तक आ जाता है और FS गिरकर **1.72** हो जाता है: रेत की परत जितनी मोटी होती है, पार्श्व अपरूपण का योगदान उतना घटता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Boston और Chicago के केस अध्ययन

सिद्धांत

Boston (परीक्षण काट B): 17.7 m गहरा, पाँच स्ट्रट; प्रोफ़ाइल को रेत और मृत्तिका के लिए दो एनवेलप से सीमाबद्ध किया गया (रेत एनवेलप 53.5 kPa, कोमल–मध्यम मृत्तिका एनवेलप 146.1 kPa); मापे गए भार दोनों अनुमानों से बहुत भिन्न निकले, और स्ट्रट मापे गए भारों से कहीं अधिक भार के अनुसार डिज़ाइन किए गए थे। **Chicago, National Plaza**: 21.3 m गहरा, छह स्ट्रट; प्रोफ़ाइल को समतुल्य मृत्तिका में परिवर्तित किया गया (c_{av} = 34.91 kPa, γ_{av} = 19.76 kN/m³, γH/c = 12.08, σ_a = 282.0 kPa)। Peck एनवेलप ने प्रेक्षित दाब का लगभग **1.8 गुना** दिया: अनेक उत्खननों के चारों ओर खींचा गया एनवेलप किसी एकल उत्खनन के लिए रूढ़िवादी होता है; उसी मृदा में क्षेत्र अनुभव अति-डिज़ाइन को उल्लेखनीय रूप से घटा सकता है।



विधि क्या मानती है

सिद्धांत

एनवेलप लगभग 6 m से गहरे उत्खननों से संकलित किए गए हैं; **एनवेलप किसी भी क्षण दीवार पर वास्तविक दाब नहीं है**: यह सुरक्षित आलंब भार देता है, दीवार का विक्षेप नहीं। मृत्तिका अनपवाहित है, रेत अपवाहित।

रेत + मृत्तिका प्रोफ़ाइल **एकल समतुल्य मृत्तिका** (c_{av}, γ_a) में बदली जाती है; एनवेलप $\gamma_a H/c_{av}$ से चुना जाता है। एकाधिक मृत्तिकाओं का पहले मोटाई के अनुसार औसत लिया जाता है। $K_s \approx 1$ और $n' = 0.75$ औसत मान हैं; $n' = 0.5–1.0$ के बीच परिवर्तन का परिणाम पर बड़ा प्रभाव पड़ता है।

अधिभार अलग से जोड़ा जाता है ($\Delta p = q$); जल केवल इकाई भार को बदलता है। **शीट-पाइल** हिंजयुक्त स्थैतिक निर्धार्य धरनियों की शृंखला है; **वेल** स्ट्रटों के बीच सरल स्पैन हैं। स्टील का सत्यापन EN 1993-1-1 (क्लास 4 का डिज़ाइन नहीं किया जाता) या AISC 360-22 से किया जाता है।

आधार उत्थान की जाँच समांगी मृत्तिका के लिए व्युत्पन्न सूत्र के GeoTerva परतदार विस्तार से की जाती है; दीवार के अंतःस्थापन को नहीं गिना जाता।

उत्खनन के दौरान पार्श्व गति और आसपास भूमि की हानि अपेक्षित है; यदि कठोर परत हो तो शीट-पाइल उसी में गहराई तक स्थापित की जाती हैं।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

समतुल्य मृत्तिका: $c_{av} = [\gamma_s K_s H_s^2 \tan \varphi'_s + (H - H_s) n' q_u]/(2H)$, $\gamma_a = [\gamma_s H_s + (H - H_s)\gamma_c]/H$; उदाहरण में 21.31 kPa और 17.57 kN/m³

एनवेलप: $\gamma_a H/c_{av} = 5.77 > 4 \rightarrow$ मृदु–मध्यम मृत्तिका एनवेलप $\sigma_a = \gamma_a H[1 - 4c_{av}/\gamma_a H] = 37.75$ kPa; $n' = 0.5 \rightarrow 57.75$ kPa

National Plaza: $c_{av,clay} = 51.16$, $c_{av} = 34.91$ kPa, $\gamma_{av} = 19.76$ kN/m³, $\gamma H/c = 12.08 \rightarrow \sigma_a = 282.0$ kPa (प्रेक्षित मान का ≈ 1.8 गुना)

स्ट्रट भार और आकार निर्धारण: $P_{max} = 277.47$ kN; शीट-पाइल $M_{max} = 26.99$ kN·m/m; वेल M = 104.05 kN·m

स्टील: EN 1993-1-1 η = 0.221 / 0.511 / 0.358; AISC LRFD स्ट्रट 0.401, ASD 0.376

आधार उत्थान (परतदार): $c_{side} = 20$ kPa, $\sigma_v(H) = 123$ kPa, FS = 1.83 ≥ 1.5

संदर्भ

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — Chapter 15, “Braced Cuts”; यह पृष्ठ इसका अनुसरण करता है।

Peck, R.B. (1943). Earth pressure measurements in open cuts, Chicago (Ill.) subway. Transactions, ASCE, 108, 1008–1058.

Peck, R.B. (1969). Deep excavation and tunneling in soft ground. Proceedings, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State-of-the-Art Volume, 225–290.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.

Lambe, T.W. (1970). Braced excavations. Proceedings, Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth-Retaining Structures, ASCE, 149–218.

Swatek, E.P., Asrow, S.P. and Seitz, A. (1972). Performance of bracing for deep Chicago excavation. Proceedings, Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, ASCE, Vol. 1, Part 2, 1303–1322.

Bjerrum, L. and Eide, O. (1956). Stability of strutted excavations in clay. Géotechnique, 6(1), 32–47.

Chang, M.F. (2000). Basal stability analysis of braced cuts in clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 126(3), 276–279.

U.S. Department of the Navy (1971). Design Manual — Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures, NAVFAC DM-7, Washington, D.C.

Moormann, C. (2004). Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database. Soils and Foundations, 44(1), 87–98.

EN 1990:2002, Eurocode — Basis of structural design. CEN.

EN 1993-1-1:2005, Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN.

EN 1993-5:2007, Eurocode 3: Design of steel structures — Part 5: Piling. CEN.

ANSI/AISC 360-22, Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Chicago, 2022.

ASCE/SEI 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, 2022.

टिप्पणी

सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल के अपने गणना इंजन से तैयार किए गए हैं; मॉड्यूल वही मान देता है। मॉड्यूल पृष्ठ पर हल किए गए उदाहरण National Plaza (Chicago) प्रकरण और मॉड्यूल का प्रारंभिक उत्खनन हैं (H = 7 m, रेत 3 m + मृत्तिका)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपने उत्खनन की रेत और मृत्तिका परतें, स्ट्रट स्तर, अधिभार और अपने संरचनात्मक सदस्य GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल तुल्य मृत्तिका, एनवेलप, स्ट्रट भार, शीट-पाइल और वेल के आघूर्ण, स्टील का सत्यापन और आधार उत्थान एक साथ देता है।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें
नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।