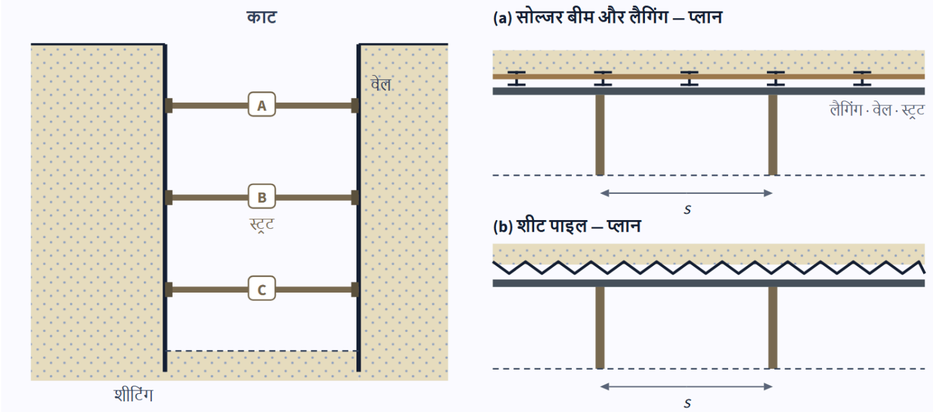
भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · शीट-पाइल दीवारें और ब्रेस किए गए उत्खनन

रेत में ब्रेस्ड कट (स्ट्रट-समर्थित उत्खनन)

व्याख्यान: रेत में ब्रेस्ड (स्ट्रट-युक्त) उत्खनन; Peck दाब एनवेलप, स्ट्रट भार, शीट-पाइल और वेल का आकार निर्धारण, इस्पात जाँच और आधार पाइपिंग; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

उत्खनन समर्थन · Peck एनवेलप (रेत) · स्ट्रट · वेल · शीट-पाइल · EN 1993 · AISC 360 · आधार पर पाइपिंग



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- ब्रेस्ड कट में दाब **Rankine क्यों नहीं** है और **एनवेलप** मापे गए स्ट्रट भारों से कैसे बनाए जाते हैं
- रेत के लिए **Peck एनवेलप $\sigma_a = 0.65\,\gamma\,H\,K_a$** और एकाधिक रेत परतों में K_a के लिए तीन नियम
- एनवेलप के साथ **जल** और **अधिभार** को अलग आरेखों के रूप में जोड़ना
- एनवेलप से **स्ट्रट भारों** तक (हिंज वाले खंड, A, B_1, B_2, C प्रतिक्रियाएँ, $P = R \cdot s$)
- **शीट-पाइल** (M_{max}, S) और **वेल** ($M = R\,s^2/8$) का आकार निर्धारण; इस्पात का **EN 1993-1-1 और AISC 360-22** से सत्यापन
- रेत के आधार पर **पाइपिंग** (निकास प्रवणता, $FS = i_{cr}/i_{exit}$) 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: रेत (γ = 17.6 kN/m³, φ' = 32°), गहराई H = 8.00 m, चौड़ाई B = 6.00 m; स्ट्रट 1.80 · 4.60 · 7.30 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

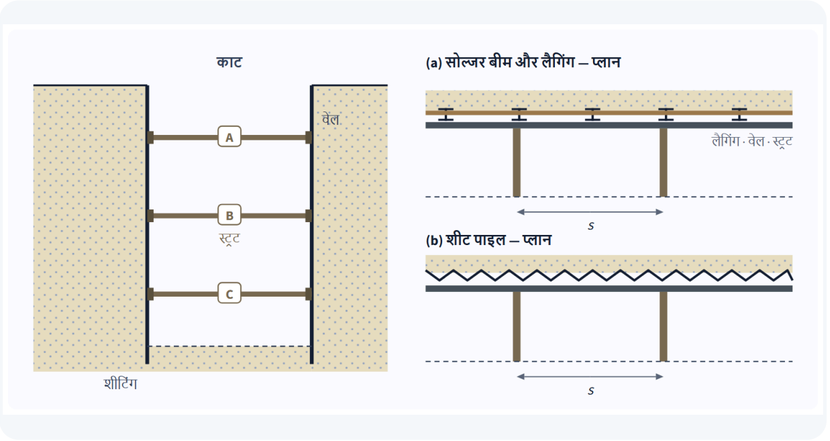
ऊर्ध्वाधर फलक वाले गहरे उत्खनन (शहरी तहखाना, कट-एंड-कवर सुरंग) को एक अस्थायी **सहारा प्रणाली** द्वारा खुला रखा जाता है। दो व्यवस्थाएँ प्रचलित हैं: पहले से ठोकी गई **ऊर्ध्वाधर पाइलों** (इस्पात या लकड़ी की) के बीच उत्खनन आगे बढ़ने के साथ क्षैतिज लकड़ी की लैगिंग लगाई जाती है; या आपस में फँसने वाली **शीट-पाइलें**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

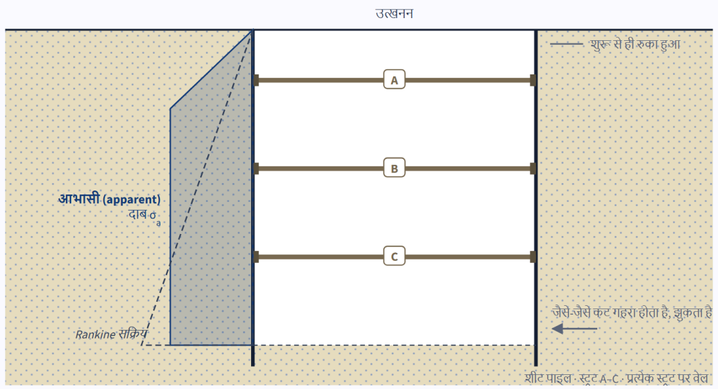
कैंटिलीवर प्रतिधारक दीवार अपने आधार के परितः घूमती है और Rankine सक्रिय दाब (ऊपर शून्य, नीचे अधिकतम) उसका भली-भाँति वर्णन करता है। **ब्रेस्ड दीवार विपरीत दिशा में गति करती है**: पहला स्ट्रट तब लगाया जाता है जब उत्खनन उथला होता है, इसलिए ऊपरी भाग लगभग हिलता ही नहीं; इसके बाद प्रत्येक चरण स्ट्रट लगाए जाने 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

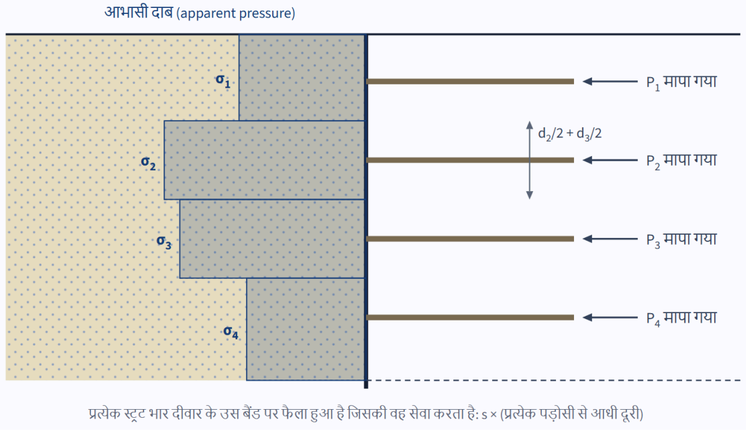
दाब एक स्थान से दूसरे स्थान पर बदलता है और प्रत्येक स्ट्रट को उस **अधिकतम भार** के लिए डिज़ाइन किया जाना चाहिए जिसका उसे सामना करना पड़ सकता है। एनवेलप इसी उद्देश्य से बनाए जाते हैं: उपकरण लगे (इंस्ट्रुमेंटेड) उत्खनन में प्रत्येक स्ट्रट का भार मापा जाता है, उसे स्ट्रट द्वारा सँभाली गई दीवार-पट्टी के 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।



$\sigma_a = 0.65\,\gamma\,H\,K_a$, पूरी ऊँचाई पर

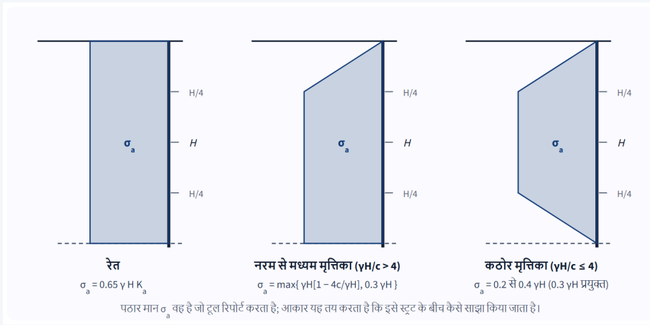
सिद्धांत

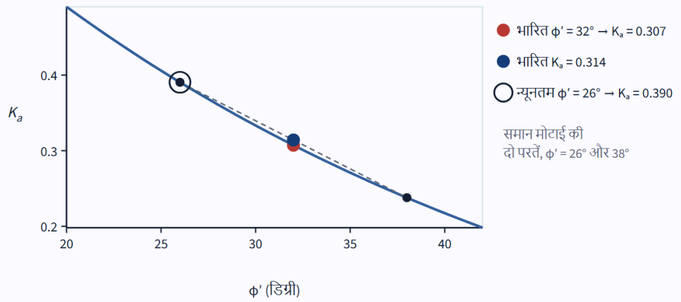
रेत में Peck एनवेलप एक **आयत** है: पूरी उत्खनन ऊँचाई पर एक ही दाब, जो Rankine सक्रिय त्रिभुज की अधिकतम कोटि का 65% है:

$$\sigma_a = 0.65\,\gamma H K_a \qquad K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

एनवेलप इन शर्तों के साथ दिए गए हैं: उत्खनन गहराई लगभग 6 m से अधिक; **भूजल उत्खनन तल के नीचे**; रेत अपवाहित (रंध्र जल दाब शून्य)।

एनवेलप को एक ही K_a चाहिए; **एक से अधिक रेत परतों** के लिए स्रोत कोई नियम नहीं देता। तीन नियम प्रयुक्त होते हैं और वे एकमत नहीं होते, क्योंकि K_a, φ' का उत्तल फलन है (वक्र के भीतर लिया गया औसत वक्र के नीचे रहता है): $K_a(\bar{\varphi} = \Sigma\varphi H/H)$, औसत $K_a = \Sigma K_{a,i} H/H$ और $K_a(\varphi'_{min})$।





प्रश्न

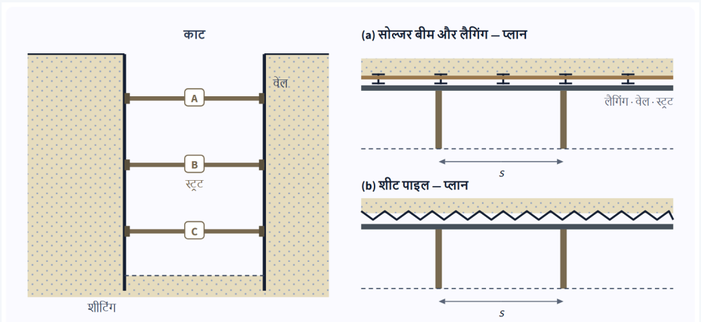
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	$H = 8.00$ m, **एकल रेत** $\gamma = 17.6$ kN/m³, $\varphi' = 32^\circ$
तीन-परत प्रोफ़ाइल	**0–3 m:** $\gamma = 17$, $\varphi' = 28^\circ$; **3–6 m:** 18, 38°; **6 m से नीचे:** 18.5, 33° **(वही उत्खनन)**

ज्ञात करना है

(a) K_a और σ_a; (b) तीन परतों वाली प्रोफ़ाइल में तीनों नियमों के K_a, σ_a मान।



हल

हल

1 (a) एकल रेत

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 16^\circ) = \mathbf{0.3073}$$

$$\sigma_a = 0.65\,\gamma H K_a = 0.65(17.6)(8.00)(0.3073) = \mathbf{28.12}\ \text{kPa}$$

2 (b) तीन परतें: उत्खनन की ऊँचाई के अनुसार भारित औसत $\bar{\gamma} = 17.75$ kN/m³ (परत मोटाइयाँ 3 + 3 + 2 m)

नियम	K_a	$\sigma_a = 0.65\,\bar{\gamma} H\,K_a$ (kPa)	P_{max} (kN)
$K_a(\bar{\varphi} = 33.0°)$	0.2948	27.21	308.5
औसत $K_a = \Sigma K_{a,i} H_i / H$	0.2983	27.53	312.1
$K_a(\varphi'_{min} = 28°)$	0.3610	33.32	377.7

एकल रेत में एनवेलप **28.12 kPa** है। तीन नियमों के K_a मान 0.295 – 0.361 के बीच बदलते हैं: सबसे कम φ' से की गई गणना (σ_a = 33.3 kPa) औसतों से 22% अधिक मान देती है; औसत लेने वाले नियम वक्र के भीतर रहते हैं, **रूढ़िवादी नियम φ'_{min} वाला है**।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

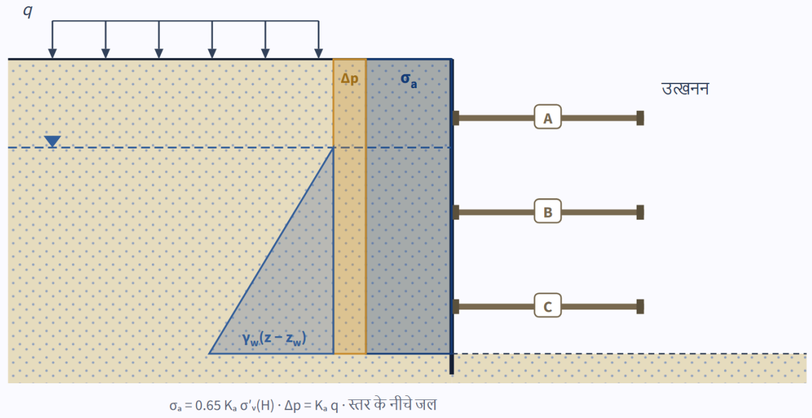
एनवेलप के भीतर नहीं, उसके पास जोड़ा जाता है

सिद्धांत

एनवेलप ऐसे उत्खननों से बनाए गए हैं जिनमें आधार के नीचे जल और उत्खनन के पास भार नहीं था। मॉड्यूल इन दोनों को एनवेलप के बगल में **अलग आरेखों** के रूप में जोड़ता है; एनवेलप को उसकी मापी गई सीमा से आगे स्केल नहीं किया जाता।

जल: Peck का रेत एनवेलप प्रभावी प्रतिबल आरेख है। यदि जल उत्खनन के भीतर हो, तो आधार स्तर पर ओवरबर्डन प्रतिबल प्रभावी लिया जाता है (जल के ऊपर प्राकृतिक, नीचे निमज्जित इकाई भार); जल दीवार पर पूरी ऊँचाई तक अलग से भी दाब डालता है और स्ट्रट दोनों को एक साथ वहन करते हैं।

अधिभार q को एनवेलप में शामिल नहीं किया जाता (अन्यथा आनुभविक 0.65 उस पर भी लागू होता); इसे पूरी ऊँचाई पर उसके अपने एकसमान दाब के रूप में लिया जाता है।



$$\sigma'_v(H) = \sum \gamma_i h_i + \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \sigma_a = 0.65 K_a \sigma'_v(H) \qquad u(z) = \gamma_w (z - z_w)$$

$$\Delta p_q = K_a q \qquad R = \sigma_a H + \Delta p_q H + \tfrac{1}{2}\gamma_w (H - z_w)^2$$

प्रश्न

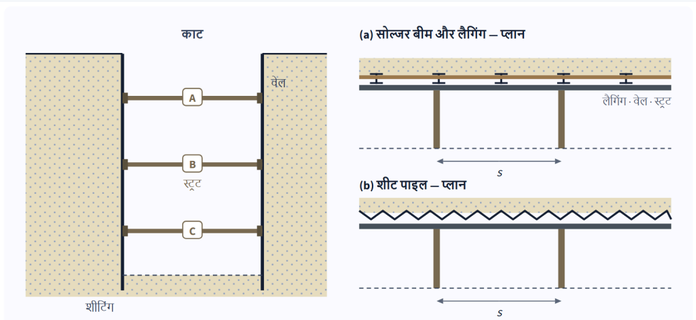
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**उदाहरण 1(a) का उत्खनन** ($H = 8$ **m,** $\gamma = 17.6$, $\gamma_{sat} = 20$ **kN/m³,** $\varphi' = 32°$)
स्थितियाँ	**(a) जल नहीं, अधिभार नहीं; (b) भूजल** $z_w = 3$ **m पर; (c) एकसमान अधिभार** $q = 10$ **kPa**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में σ_a, अधिभार और जल दाब; **कुल भार R** और अधिकतम स्ट्रट भार।



हल (1/2)

हल

1 (b) जल: प्रभावी ओवरबर्डन प्रतिबल और एनवेलप; जल पूरी ऊँचाई पर अलग से दाब डालता है

$$\sigma'_v(H) = 17.6(3) + (20 - 9.81)(5) = 103.75 \text{ kPa}$$

$$\sigma_a = 0.65(0.3073)(103.75) = 20.72 \text{ kPa}$$

$$R = \sigma_a H + \tfrac{1}{2}\gamma_w (H - z_w)^2 = 20.72(8) + \tfrac{1}{2}(9.81)(5)^2 = \mathbf{288.41} \text{ kN/m}$$

जल के नीचे प्रभावी ओवरबर्डन घट जाता है (σ_a 28.12 → 20.72 kPa) परंतु जल शीट-पाइल दीवार पर पूरी ऊँचाई से दाब डालता है: **R = 288.4 kN/m**।

हल (2/2)

हल

2 (c) अधिभार: पृथक एकसमान दाब; (a), (b), (c) का सारांश

$$\Delta p_q = K_a q = 0.3073(10) = 3.073 \text{ kPa}$$

$$R = \sigma_a H + \Delta p_q H = 28.12(8) + 3.073(8) = 249.52 \text{ kN/m}$$

स्थिति	σ_a (kPa)	Ek (kPa)	R (kN/m)	P_{max} (kN)	M_{max} शीट-पाइल (kN·m/m)
(a) जल नहीं, q = 0	28.12	—	224.96	318.8	45.55
(b) जल z_w = 3 m	20.72	u(H) = 49.05	288.38	376.7	37.09
(c) q = 10 kPa	28.12	Δp_q = 3.07	249.52	353.5	50.53

जल एनवेलप को **छोटा** करता है, पर जल दाब जोड़ देता है: R 225.0 → **288.4 kN/m**। अधिभार एनवेलप को नहीं छूता; यह Δp_q = 3.07 kPa जोड़ता है (R = 249.5 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:

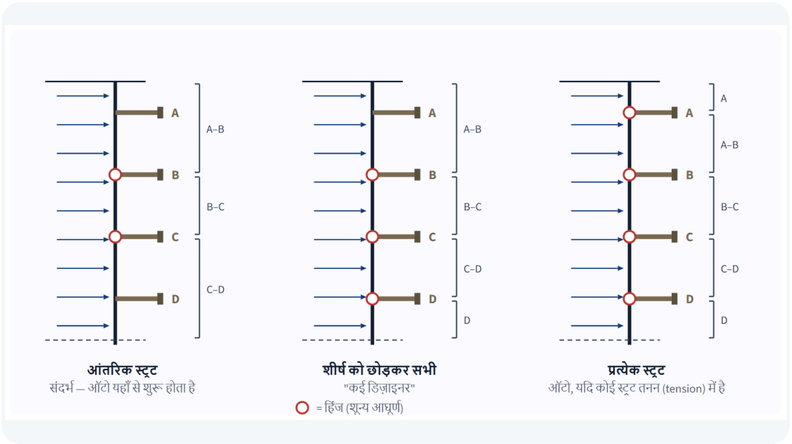
दाब एनवेलप और स्ट्रट स्तर बनाएँ। शीट-पाइल को सबसे ऊपर और सबसे नीचे वाले को छोड़कर **प्रत्येक स्ट्रट स्तर पर हिंजित** मानें (अनेक डिज़ाइनर सबसे ऊपर वाले को छोड़कर सभी पर)।

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

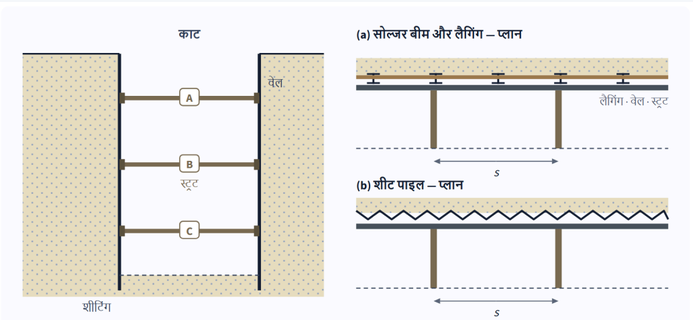
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	$H = 8.00$ m; $B = 6$ m; **स्ट्रट** $z = 1.80, 4.60, 7.30$ m **(A, B, C); क्षैतिज अंतराल** $s = 3.00$ m
दाब	**उदाहरण 1(a): सतत आयताकार एनवेलप** $\sigma_a = 28.12$ kPa**; शीट-पाइल B स्ट्रट पर हिंज-युक्त है (सबसे ऊपर और सबसे नीचे 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 – 4.60	129.35	2.300	A (z = 1.80), B (z = 4.60)
2	4.60 – 8.00	95.61	6.300	B (z = 4.60), C (z = 7.30)

2 पहला भाग: पहले आलंब के परितः आघूर्ण संतुलन

$$R_{B_2} = \frac{W(\bar{z} - z_A)}{z_B - z_A} = \frac{129.35(2.300 - 1.80)}{4.60 - 1.80} = \mathbf{23.10} \qquad R_A = W - R_{B_2} = \mathbf{106.25}\ \text{kN/m}$$

पहला खंड दोनों आलंबों को क्रमशः 106.25 और 23.10 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

$$R_C = \frac{W(\bar{z} - z_B)}{z_C - z_B} = \frac{95.61(6.300 - 4.60)}{7.30 - 4.60} = \mathbf{60.20} \qquad R_{B_1} = W - R_C = \mathbf{35.41}\ \text{kN/m}$$

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	1.80	106.25	106.25	**318.75**
B	4.60	23.10 + 35.41	58.51	**175.53**
C	7.30	60.20	60.20	**180.60**

अधिकतम स्ट्रट भार **P_A = 318.75 kN** (स्तर A): यही भार स्ट्रट के आकार को निर्धारित करता है। चूँकि स्ट्रट B दो भागों से संबंधित है, इसमें दो प्रतिक्रियाएँ जुड़ती हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

अधिकतम आघूर्ण और आवश्यक काट मापांक

सिद्धांत

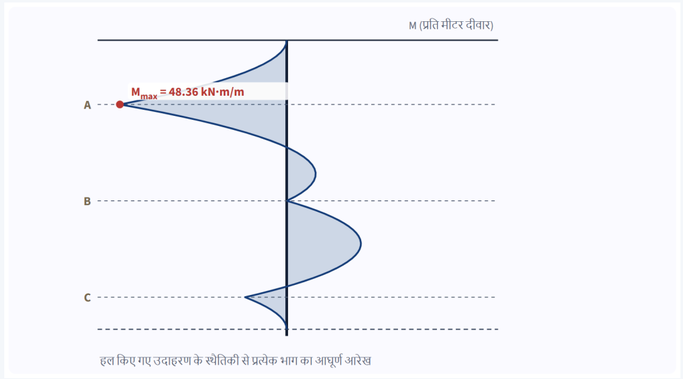
शीट-पाइल का डिज़ाइन इन्हीं खंडों से किया जाता है: प्रत्येक खंड में अधिकतम बंकन आघूर्ण (जहाँ अपरूपण बल चिह्न बदलता है: स्पैन के भीतर या उस आलंब पर जहाँ कैंटिलीवर भाग स्ट्रट से मिलता है) ज्ञात किया जाता है; इनमें सबसे बड़ा दीवार की प्रति इकाई लंबाई के लिए डिज़ाइन आघूर्ण होता है। आवश्यक काट मापांक (Section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

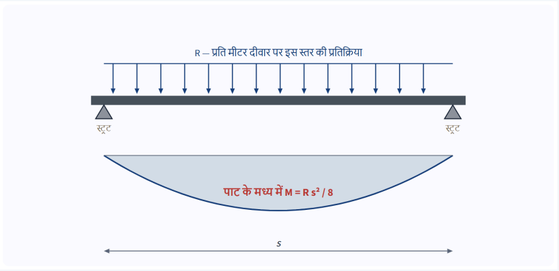
$$M_{max} = \max_{parts} |M| \qquad S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}}$$

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।





प्रश्न

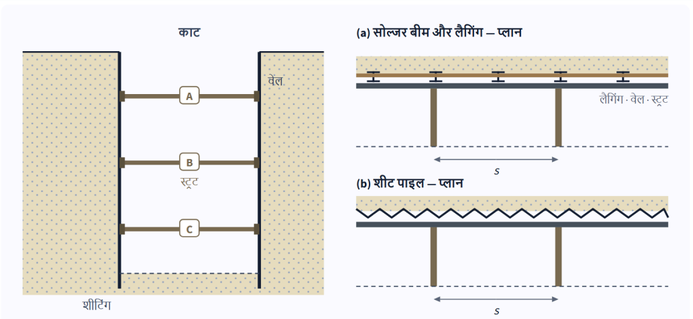
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**गहराई $H = 27$ ft (8.23 m), रेत $\gamma = 17.59$ kN/m³, $\varphi' = 32^\circ$; स्ट्रट 6, 15, 24 ft पर (1.83; 4.57; 7.32 m); क्षैतिज अंतराल 12 ft (3.66 m); B पर हिंज**
स्टील	**अनुमेय बंकन प्रतिबल $\sigma_{allow} = 165\,474$ 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 – 4.57	48.36	1.83
2	4.57 – 8.23	21.49	5.79

2 आवश्यक काट मापांक (Section modulus)

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}} = \frac{48.36}{165{,}474} = 0.0002923 \text{ m}^3/\text{m} = \mathbf{292.3} \text{ cm}^3/\text{m}$$

शीट-पाइल में **M_{max} = 48.36 kN·m/m** (खंड 1, z = 1.83 m): **S ≥ 292.3 cm³/m**।

हल (2/2)

हल

3 वेल: प्रत्येक स्तर पर सरल बीम (s = 3.658 m)

स्तर	R (kN/m)	M = R s²/8 (kN·m)	S = M/σ_{allow} (cm³)
A	110.18	184.25	1,113
B	57.30	95.82	579
C	70.52	117.93	713

सबसे बड़ी प्रतिक्रिया **स्तर A पर** है (R = 110.18 kN/m): वेल का आकार निर्धारण **M_{max} = 184.25 kN·m, S ≥ 1,113 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

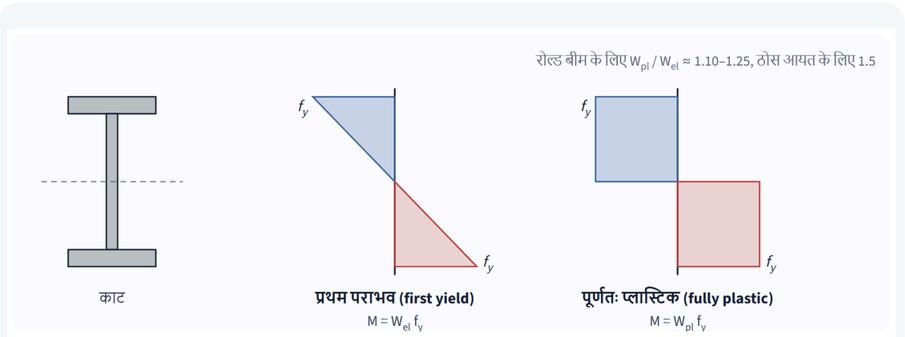
एनवेलप से प्राप्त भार **कार्यशील मान** हैं (Peck एनवेलप मापे गए भारों की ऊपरी सीमा है); इन्हें एक ही बार डिज़ाइन मान तक बढ़ाया जाता है: $E_d = \gamma_F E_k$। प्रत्येक अवयव को उसके अपने इस्पात ग्रेड की पराभव सामर्थ्य (f_y) के साथ सत्यापित किया जाता है; काट को अवयव के **काट मापांक** द्वारा दिया जाता है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

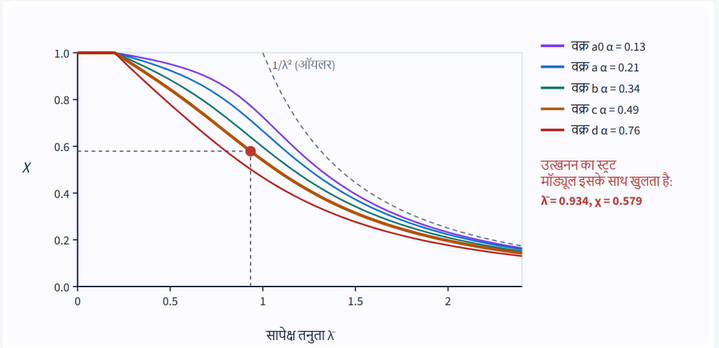
$$M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}} \qquad \eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \le 1 \qquad W = W_{pl}\ (\text{श्रेणी } 1\text{–}2),\ W_{el}\ (\text{श्रेणी } 3)$$

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

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

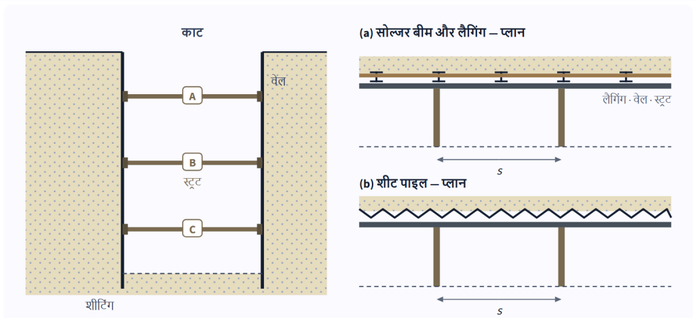
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1(a) का उत्खनन और उदाहरण 3 के भार: $P_{max} = 318.75$ kN (स्ट्रट A)**
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): $\eta = \gamma_F M/(W f_y)$

$$\eta_{sp} = \frac{1.35(45.55)}{600 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{61.50}{165.0} = \mathbf{0.373}$$

$$\eta_{belt} = \frac{1.35(119.53)}{1\,000 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{161.37}{275.0} = \mathbf{0.587}$$

शीट-पाइल η = **0.373**, वेल η = **0.587**: दोनों पर्याप्त हैं ($\eta \le 1$)।

हल (2/2)

हल

2 स्ट्रट (बकलिंग): $N_{Ed} = 1.35\,P_{max} = 1.35(318.75) = 430.31$ kN

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

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

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

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

η_{strut} = 430.3 / 1,046.4 = **0.411**। 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

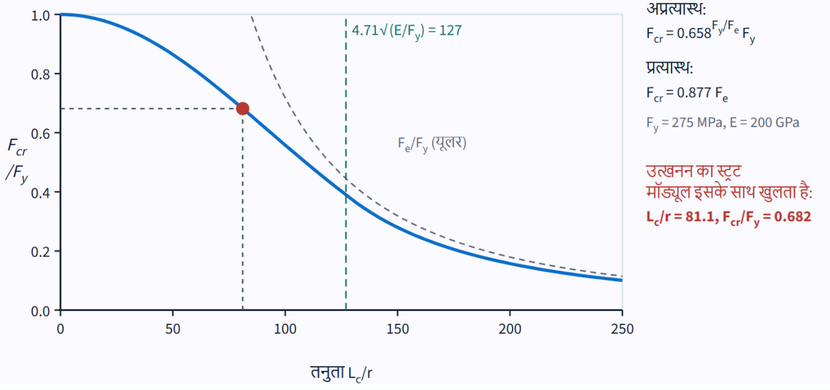
प्रत्येक सदस्य का सत्यापन संपीडन, बंकन और अपरूपण प्रावधानों से प्राप्त **नॉमिनल सामर्थ्य R_n** से किया जाता है। LRFD में भार को गुणित किया जाता है और सामर्थ्य को φ से घटाया जाता है; ASD में कार्यकारी भार की तुलना सामर्थ्य को सुरक्षा गुणांक Ω से भाग देने पर प्राप्त मान से की जाती है:

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

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

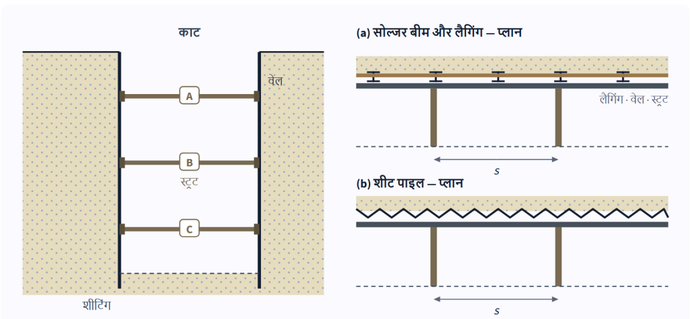
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1(a) का उत्खनन और उदाहरण 3 के भार:** $P_{max} = 318.75$ **kN (स्ट्रट A)**
अवयव	**उदाहरण 5 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 = 318.75 kN)

$$\text{LRFD: } P_u = 1.6(318.75) = 510.0 \text{ kN} \leq \phi_c P_n = 0.90(1{,}231.5) = 1{,}108.3 \text{ kN} \quad \eta = \mathbf{0.460}$$

$$\text{ASD: } P_a = 318.75 \text{ kN} \leq \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{1{,}231.5}{1.67} = 737.4 \text{ kN} \quad \eta = \mathbf{0.432}$$

स्ट्रट: LRFD η = **0.460**, ASD η = **0.432**। शीट-पाइल (LRFD) 0.491, वेल 0.773; EN 1993-1-1 में ये 0.373, 0.587 और 0.411 थे।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

निर्गम प्रवणता और क्रांतिक प्रवणता

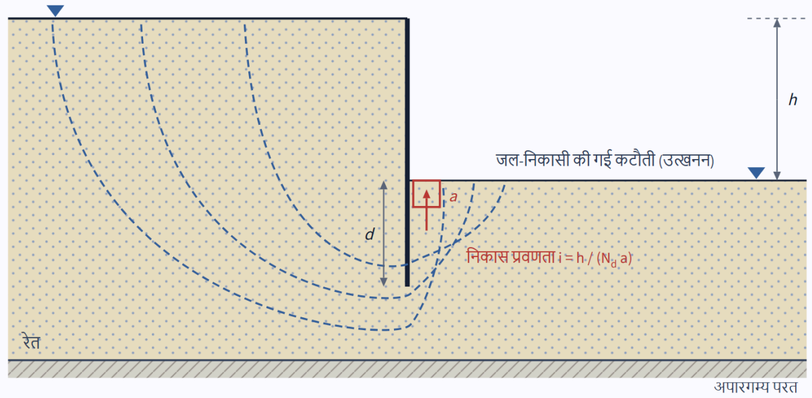
सिद्धांत

रेत का तल सामान्यतः स्थिर होता है और तब तक वैसा ही रहता है जब तक उत्खनन के भीतर का जल स्तर बाहर के भूजल स्तर से नीचे नहीं होता। उत्खनन को सुखाने (निर्जलीकरण) पर जल दीवार के नीचे से होकर तल से ऊपर निकलता है; निर्गम स्थल पर उच्च ऊर्ध्वमुखी प्रवणता कणों को उठा सकती है: **तल उबलने लगता है (पाइपिंग)**। प्रवाह जाल से दीवार के निकट की अधिकतम निर्गम प्रवणता पढ़ी जाती है:

$$i_{exit(max)} = \frac{h/N_d}{a} = \frac{h}{N_d\, a} \qquad FS = \frac{i_{cr}}{i_{exit(max)}} \qquad i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

h प्रवाह जाल में हेड ह्रास है, N_d विभव पातों की संख्या है, और a उस प्रवाह अवयव की लंबाई है जिसमें जल दीवार के पास मृदा से बाहर निकलता है। i_{cr} अधिकांश मृदाओं में 0.9–1.1 (औसत 1) होता है; अपेक्षित FS ≈ **1.5**।

गहरी रेत में पाइलयुक्त उत्खनन के लिए निर्गम प्रवणता सैद्धांतिक रूप से हल की गई है: दो चार्टों से मापांक m ($2L_2/B$ और $2L_1/B$ के साथ) और $L_2\, i_{exit}/h$ प्राप्त होते हैं; $i = (L_2 i/h)_{\text{nomograph}} \cdot h/L_2$। L_1 बाहरी रेत की तल स्तर तक की गहराई है, L_2 दीवार की तल के नीचे भेदन गहराई है।



प्रश्न

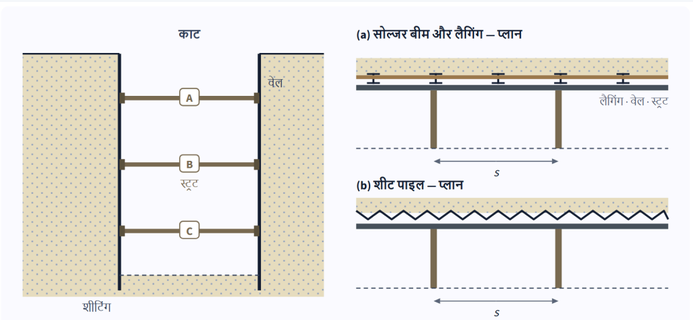
उदाहरण

दिया गया है

प्रवाह जाल (प्रारंभिक उत्खनन)	**हेड हानि** $h = 3.0$ **m, पात की संख्या** $N_d = 8$**, निर्गम तत्व** $a = 1.0$ **m;** $i_{cr} = 1.0$**;** $FS_{required} = 1.5$
आरेख उदाहरण (पाठ्यपुस्तक)	$h = 4.5$ **m,** $L_1 = 5$ **m,** $L_2 = 4$ **m,** $B = 5$ **m:** $2L_1/B = 2$**,** $B/2L_2 = 0.625$**,** $m \approx 0.033$**,** $L_2 i_{exit}/h = 0.54$

ज्ञात करना है

दोनों विधियों से i_{exit} और **FS**; आवश्यक 1.5 के विरुद्ध निर्णय।



हल

हल

1 प्रवाह जाल: $i_{exit} = h/(N_d\, a)$

$$i_{exit(max)} = \frac{h}{N_d a} = \frac{3.0}{8(1.0)} = \mathbf{0.375}$$

$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{exit(max)}} = \frac{1.0}{0.375} = \mathbf{2.67} \;\geq 1.5 \;\checkmark$$

2 चार्ट विधि (गहरी रेत)

$$i_{exit(max)} = \left(\frac{L_2 i_{exit}}{h}\right)_{nomograph} \frac{h}{L_2} = 0.54 \cdot \frac{4.5}{4} = 0.6075$$

$$FS = \frac{1.0}{0.6075} = \mathbf{1.646} \;\geq 1.5 \;\checkmark$$

प्रवाह जाल में पाइपिंग सुरक्षा **2.67**, चार्ट में **1.65**: दोनों आवश्यक 1.5 से ऊपर हैं।

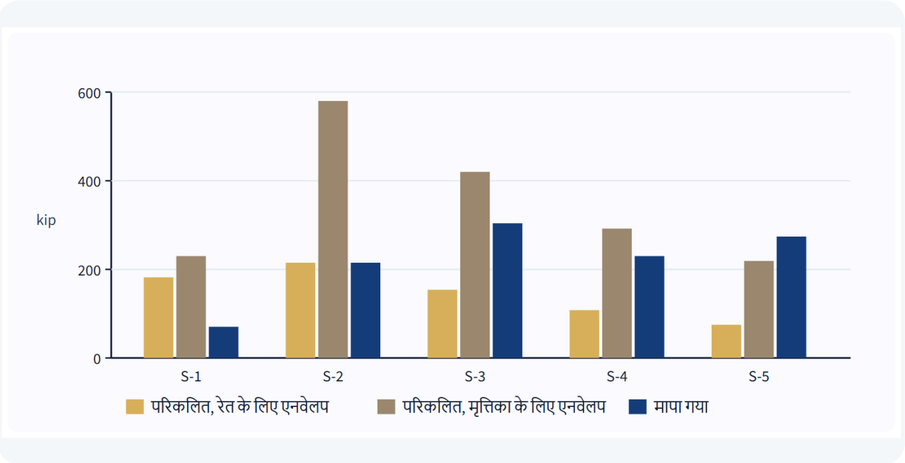
हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Boston और Chicago के केस अध्ययन

सिद्धांत

Boston (परीक्षण काट B): 17.7 m गहरा, पाँच स्ट्रट (3.66 m के अंतराल पर); 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 (मृदा प्राचल अनिश्चित हैं), और स्ट्रट मापे गए भारों से कहीं अधिक भार के अनुसार डिज़ाइन किए गए थे।

Chicago, National Plaza: 21.3 m गहरा, छह स्ट्रट, 13 ft रेत भराव के नीचे मृत्तिकाएँ; प्रोफ़ाइल को एक समतुल्य मृत्तिका में परिवर्तित किया गया: c_{av} = 34.91 kPa, γ_{av} = 19.76 kN/m³, $\gamma H/c = 12.08 > 4 \rightarrow \sigma_a = 282.0$ kPa। Peck एनवेलप ने प्रेक्षित मान का लगभग **1.8 गुना** दाब 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; इससे उथला उत्खनन डेटा के बाहर है, मॉड्यूल इसे नोट करता है। **एनवेलप किसी भी क्षण दीवार पर कार्य करने वाला वास्तविक दाब नहीं है**: यह सुरक्षित स्ट्रट भार देता है, दीवार विक्षेप नहीं।

भूजल आधार के नीचे माना जाता है; मॉड्यूल रेत का एनवेलप प्रभावी ओवरबर्डन में रखता है, जल ऊपर होने पर द्रवस्थैतिक दाब उसके साथ जोड़ देता है; उत्खनन में रिसाव की जाँच आधार पर की जाती है।

शीट-पाइल को निर्दिष्ट स्ट्रट स्तरों पर हिंजयुक्त स्थैतिक निर्धार्य धरनियों की शृंखला माना जाता है; इसकी अपनी दृढ़ता और उत्खनन तल के नीचे की भेदन गहराई का उपयोग नहीं किया जाता। **वेल** स्ट्रटों के बीच सरल स्पैन हैं (कई स्ट्रटों के पार फैली सतत वेल के लिए सुरक्षित पक्ष में)।

स्टील का सत्यापन EN 1993-1-1 से किया जाता है; क्लास 4 काटों का डिज़ाइन नहीं किया जाता और वेल की पार्श्व मरोड़ी बकलिंग की जाँच नहीं की जाती। AISC 360-22 LRFD/ASD का विकल्प उपलब्ध है।

दीवार की कुछ पार्श्व गति अपेक्षित है: उसकी मात्रा इस पर निर्भर करती है कि किसी चरण की खुदाई और वेल तथा स्ट्रट लगाने के बीच कितना समय बीतता है। यह गति आसपास की मृदा में **भूमि-क्षति** उत्पन्न करती है; 150 मामलों में अधिकतम सेटलमेंट कोमल मृत्तिका में उत्खनन गहराई का ≈ 1.1%, कठोर मृत्तिका में 0.2% और संसंजनहीन मृदा में 0.3% रहा है।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

एनवेलप: ब्रेस की गई दीवार अपने शीर्ष के सापेक्ष घूर्णन करती है; दाब Rankine मान नहीं, बल्कि मापे गए भारों के चारों ओर खींचा गया आनुभविक आरेख है। **रेत में आयताकार**: $\sigma_a = 0.65\,\gamma\,H\,K_a$ (उदाहरण: 28.12 kPa)

एक से अधिक रेत परतें: $K_a(\varphi)$, औसत K_a और $K_a(\varphi'_{min})$ मेल नहीं खाते (उत्तल); φ'_{min} सतर्क मान देता है

जल और अधिभार अलग-अलग हैं: जल प्रभावी ओवरबर्डन को घटाता है परंतु पूर्ण द्रवस्थैतिक दाब जोड़ता है (R: 225 → 288 kN/m); q अतिरिक्त $\Delta p = K_a q$ जोड़ता है

स्ट्रट भार: एनवेलप को हिंज पर भागों में बाँटा जाता है, प्रतिक्रियाएँ स्थैतिकी से ज्ञात की जाती हैं, P = (जोड़ी गई प्रतिक्रियाएँ)·s; उदाहरण में P_A = 318.75 kN

आकार निर्धारण: $S = M_{max}/\sigma_{allow}$ (शीट-पाइल), वेल $M = R\,s^2/8$; पाठ्यपुस्तक उदाहरण के उत्खनन में शीट-पाइल 292 cm^3/m, वेल 1 113 cm^3

स्टील: EN 1993-1-1 η = 0.373 / 0.587 / 0.411 (शीट-पाइल / वेल / स्ट्रट बकलिंग); AISC LRFD स्ट्रट 0.460, ASD 0.432

पाइपिंग: $FS = i_{cr}/i_{exit} \geq 1.5$; उदाहरण में 2.67 (प्रवाह जाल) और 1.65 (चार्ट)

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.

Harr, M.E. (1962). Groundwater and Seepage. McGraw-Hill, New York.

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 का हल किया गया उदाहरण भी यही उत्खनन हैं (पाठ्यपुस्तक उदाहरण का उत्खनन: 27 ft, γ = 112 pcf, φ′ = 32°; मॉड्यूल का प्रारंभिक उत्खनन: 8 m)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपने उत्खनन की प्रोफ़ाइल, स्ट्रट स्तर, भूजल, अधिभार और अपने तत्व GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल एनवेलप, स्ट्रट भार, शीट-पाइल और वेल आघूर्ण, स्टील सत्यापन और आधार पाइपिंग एक साथ देता है।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें

नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।