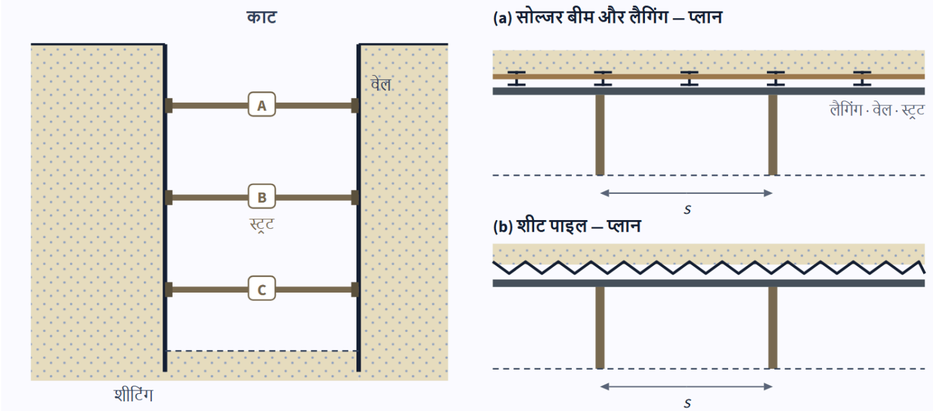
GeoTerva

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

मृत्तिका में ब्रेस्ड कट (स्ट्रट-समर्थित उत्खनन)

व्याख्यान: मृत्तिका में ब्रेस्ड (स्ट्रटयुक्त) उत्खनन; मृत्तिका एनवेलप, तनन दरार, स्ट्रट भार, शीट-पाइल और वेल का आकार निर्धारण, इस्पात की जाँच और आधार उत्थान; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

उत्खनन आलंबन | Peck एनवेलप (मृत्तिका) | तनन दरार · प्रथम स्ट्रट | स्ट्रट · वेल · शीट-पाइल | आधार उत्थान



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- ब्रेस्ड कट में दाब **Rankine क्यों नहीं होता** और **एनवेलप** मापे गए भारों से कैसे बनाए जाते हैं
- मृत्तिका के दो एनवेलप, **γH/c स्थिरता संख्या** के अनुसार: मुलायम–मध्यम मृत्तिका (γH/c > 4) और कठोर मृत्तिका (≤ 4)
- **अधिभार** को अलग दाब के रूप में जोड़ना, मृत्तिका में जल का केवल इकाई भार बदलना; **तनन दरार** $z_c = 2c/\gamma$ और पहला स्ट्रट
- एनवेलप से **स्ट्रट भार** (हिंज-युक्त खंड), तथा **शीट-पाइल** और **वेल** का आकार निर्धारण
- इस्पात का **EN 1993-1-1 और AISC 360-22** से सत्यापन करना
- मृत्तिका में उत्खनन तल की **आधार उत्थान** जाँच (Terzaghi स्तंभ, Chang का संशोधन)

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: मृत्तिका (γ = 18 kN/m³, c = 35 kPa, φ = 0), गहराई H = 7.00 m, चौड़ाई 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

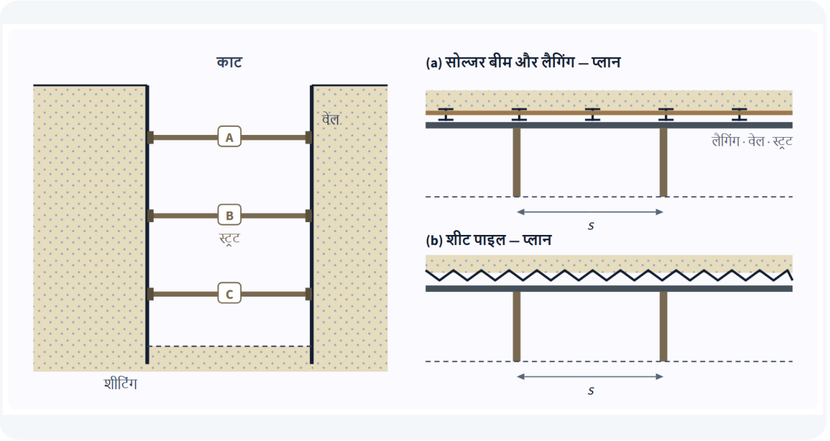
ऊर्ध्वाधर फलक वाले गहरे उत्खनन (शहरी तहखाना, कट-एंड-कवर सुरंग) को एक अस्थायी **सहारा प्रणाली** द्वारा खुला रखा जाता है। दो व्यवस्थाएँ प्रचलित हैं: पहले से ठोकी गई **ऊर्ध्वाधर पाइलों** (इस्पात या लकड़ी की) के बीच उत्खनन आगे बढ़ने के साथ क्षैतिज लकड़ी की लैगिंग लगाई जाती है; या आपस में फँसने वाली **शीट-पाइलें**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

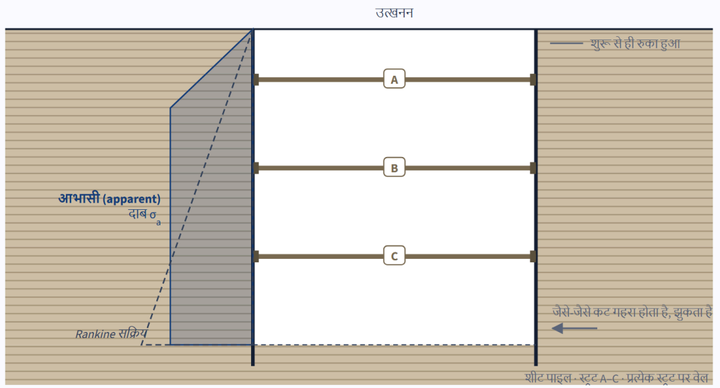
कैंटिलीवर प्रतिधारक दीवार अपने आधार के परितः घूमती है और Rankine सक्रिय दाब (ऊपर शून्य, नीचे अधिकतम) उसका भली-भाँति वर्णन करता है। **ब्रेस्ड दीवार विपरीत दिशा में गति करती है**: पहला स्ट्रट तब लगाया जाता है जब उत्खनन उथला होता है, इसलिए ऊपरी भाग लगभग हिलता ही नहीं; इसके बाद प्रत्येक चरण स्ट्रट लगाए जाने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

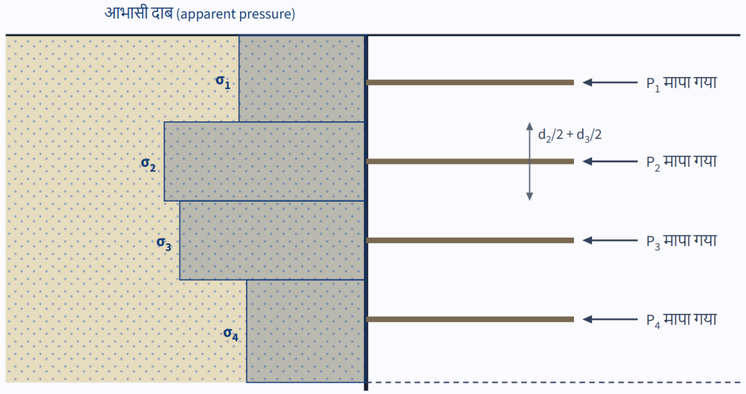
दाब एक स्थान से दूसरे स्थान पर बदलता है और प्रत्येक स्ट्रट को उस **अधिकतम भार** के लिए डिज़ाइन किया जाना चाहिए जिसका उसे सामना करना पड़ सकता है। एनवेलप इसी उद्देश्य से बनाए जाते हैं: उपकरण लगे (इंस्ट्रुमेंटेड) उत्खनन में प्रत्येक स्ट्रट का भार मापा जाता है, उसे स्ट्रट द्वारा सँभाली गई दीवार-पट्टी के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

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

एनवेलप सतह पर शून्य है, ऊपरी चौथाई में रैखिक रूप से बढ़ता है और आधार तक स्थिर रहता है; दोनों व्यंजकों में से बड़ा मान निर्धारक होता है। **कठोर मृत्तिका** अपने प्रत्यास्थ परास के अधिक निकट है:

$$\frac{\gamma H}{c} \le 4: \quad \sigma_a = 0.2\gamma H \text{ के साथ } 0.4\gamma H \ \ (\text{औसत } 0.3\gamma H)$$

कठोर मृत्तिका में एनवेलप ऊपरी चौथाई में बढ़ता है, मध्य आधे भाग में स्थिर रहता है और निचली चौथाई में शून्य पर लौट आता है। शर्तें रेत एनवेलप की शर्तों के समान हैं (≳ 6 m गहराई, जल आधार के नीचे, मृत्तिका अनपवाहित)।

यदि उत्खनन कई मृत्तिकाओं से होकर गुज़रता है तो स्रोत उनका मोटाई के आधार पर औसत लेता है: $c_{av} = \Sigma c_i H_i/H$, $\gamma_{av} = \Sigma \gamma_i H_i/H$, फिर मृत्तिका एनवेलप औसत मानों के साथ प्रयुक्त होते हैं।



प्रश्न

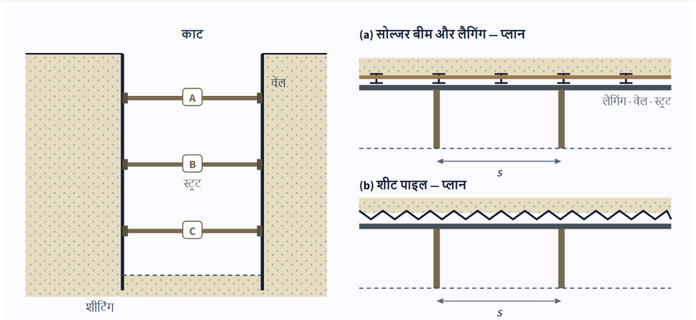
उदाहरण

दिया गया है

खुला उत्खनन	$H = 7.0$ m, $\gamma = 18$ kN/m³, $c = 35$ kPa
अधिक कोमल मृत्तिका	**वही उत्खनन,** $c = 20$ kPa

ज्ञात करना है

दोनों मृत्तिकाओं के लिए **γH/c**, एनवेलप का प्रकार और σ_a।



हल

हल

1 प्रारंभिक मृत्तिका (c = 35 kPa)

$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{18(7)}{35} = \mathbf{3.60} \leq 4 \Rightarrow \text{दृढ़ मृत्तिका}$$

$$\sigma_a = 0.3\gamma H = 0.3(18)(7) = \mathbf{37.80}\ \text{kPa}$$

2 अधिक मृदु मृत्तिका (c = 20 kPa)

$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{126}{20} = \mathbf{6.30} > 4 \Rightarrow \text{मृदु–मध्यम मृत्तिका}$$

$$\sigma_a = \gamma H\left[1 - \frac{4c}{\gamma H}\right] = 126(1 - 0.635) = \mathbf{46.00}\ \text{kPa} \geq 0.3\gamma H = 37.8$$

प्रारंभिक मृत्तिका को कठोर माना जाता है: σ_a = **37.80 kPa** (अधिकतम स्ट्रट भार P = 271.3 kN)। संसंजन के 20 kPa तक घटने पर उत्खनन मृदु–मध्यम मृत्तिका के व्यवहार में चला जाता है: σ_a = **46.0 kPa** और एनवेलप का निचला भाग नियत समतल भाग (प्लैटो) बन जाता है (P = 338.1 kN)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एनवेलप के बगल में; इकाई भार के साथ; पहले स्ट्रट का स्थान

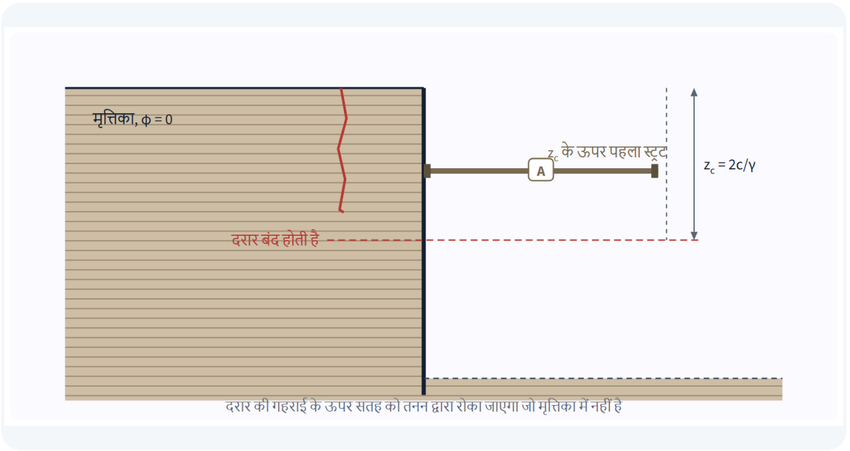
सिद्धांत

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 एनवेलप अनपवाहित, कुल प्रतिबल पर आधारित निरूपण हैं; मृत्तिका में उपस्थित जल पहले से ही इकाई भार और अनपवाहित सामर्थ्य में समाहित है। तल के ऊपर का जल आरेख में दर्शाया और नोट किया जाता है, उसे पृथक भार के रूप में नहीं जोड़ा जाता; वह केवल मृदा के भार को बदलता है: जल के नीचे संतृप्त इकाई भार लिया जाता है, और जल द्वारा कटी हुई परत में दोनों मानों का मोटाई-भारित औसत, $\gamma = (\gamma z_w + \gamma_{sat}(H - z_w))/H$।

तनन दरार: मृत्तिका की सतह तनन दरार के बंद होने की गहराई तक बिना आलंब के खड़ी रह सकती है (संसंजक Rankine सक्रिय दाब के शून्य होने की गहराई)। $\varphi = 0$ पर $K_a = 1$; पहला आलंब इस गहराई के **ऊपर** लगाया जाना चाहिए, ताकि दीवार ऐसे खुले तल पर न टिके जिसे मृत्तिका थाम नहीं सकती।

$$\Delta p_q = q \qquad z_c = \frac{2c}{\gamma}\ (q = 0), \qquad z_c = \frac{2c - q}{\gamma}\ \text{(अधिभार q)}$$



प्रश्न

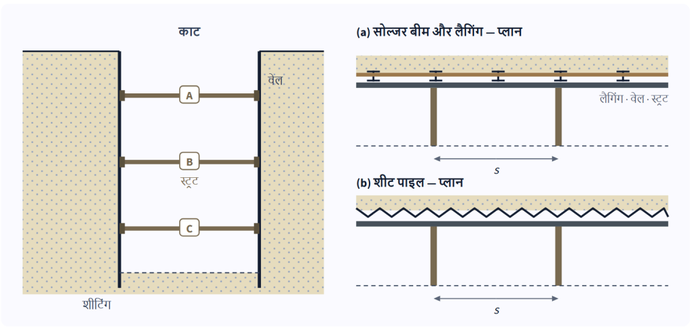
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**उदाहरण 1 का प्रारंभिक उत्खनन ($H = 7$ m, $\gamma = 18$, $\gamma_{sat} = 19$ kN/m³, $c = 35$ kPa); पहला स्ट्रट $z = 1.0$ m पर**
स्थितियाँ	**(a) q = 0, जल नहीं; (b) अधिभार $q = 10$ kPa; (c) भूजल $z_w = 3$ m**

ज्ञात करना है

z_c, क्या पहले स्ट्रट की स्थिति उपयुक्त है; (c) में $\bar{\gamma}$ और $\bar{\gamma}H/c$; प्रत्येक स्थिति में कुल भार R और अधिकतम स्ट्रट भार।



हल (1/2)

हल

1 तनन दरार और पहला स्ट्रट

$$z_c = \frac{2c}{\gamma} = \frac{2(35)}{18} = \mathbf{3.889}\ \text{m}\ > 1.00\ \text{m}\ \checkmark$$

$$z_c = \frac{2c - q}{\gamma} = \frac{70 - 10}{18} = 3.333\ \text{m}\ \ (q = 10\ \text{kPa})$$

पहला स्ट्रट (z = 1.0 m) दरार की गहराई (3.89 m) से बहुत ऊपर है: उपयुक्त। अधिभार के साथ दरार घटकर 3.33 m रह जाती है।

हल (2/2)

हल

2 जल (c): $\bar{\gamma} = (\gamma z_w + \gamma_{sat}(H - z_w))/H$; तीनों स्थितियों का सारांश

$$\bar{\gamma} = \frac{18(3) + 19(4)}{7} = 18.571 \text{ kN/m}^3 \qquad \frac{\bar{\gamma} H}{c} = \frac{18.571(7)}{35} = 3.714$$

$$\sigma_a = 0.3\bar{\gamma} H = 39.00 \text{ kPa}$$

स्थिति	γH/c	σ_a (kPa)	z_c (m)	R (kN/m)	P_{max} (kN)
(a) q = 0, जल नहीं	3.60	37.80	3.89	198.4	271.3
(b) q = 10 kPa	3.60	37.80	3.33	268.4	334.3
(c) जल z_w = 3 m	3.71	39.00	—	204.8	279.8

अधिभार केवल $\Delta p_q = q = 10$ kPa जोड़ता है (R 198.4 → 268.4 kN/m); जल केवल $\bar{\gamma}$ को 18.57 kN/m³ तक बढ़ाता है (σ_a 37.8 → 39.0 kPa)।

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:

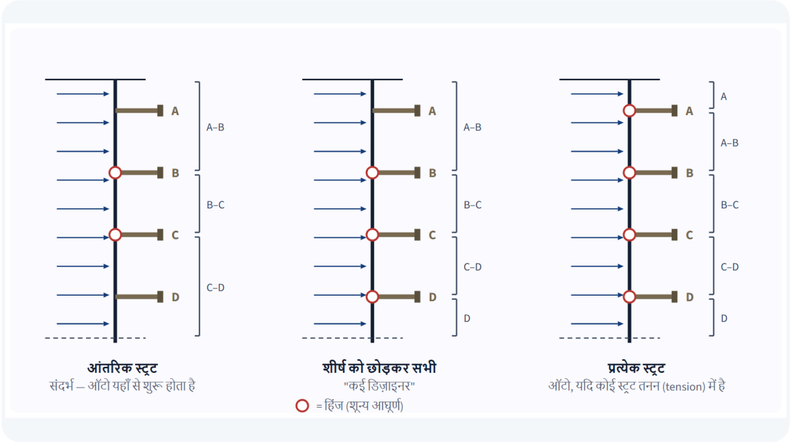
दाब एनवेलप और स्ट्रट स्तर बनाएँ। शीट-पाइल को सबसे ऊपर और सबसे नीचे वाले को छोड़कर **प्रत्येक स्ट्रट स्तर पर हिंजित** मानें (अनेक डिज़ाइनर सबसे ऊपर वाले को छोड़कर सभी पर)।

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

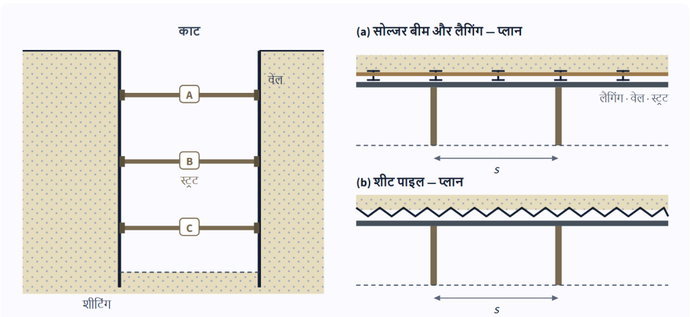
उदाहरण

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: कठोर मृत्तिका (γH/c = 3.6): समलंब एनवेलप** $\sigma_a = 0.3\gamma H = 37.8$ kPa **(ऊपरी चौथाई में बढ़ता है, निचले चौथाई में शून्य तक घटता है); 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 – 3.50	99.23	2.139	A (z = 1.00), B (z = 3.50)
2	3.50 – 7.00	99.23	4.861	B (z = 3.50), C (z = 6.00)

2 पहला भाग: पहले आलंब के परितः आघूर्ण संतुलन

$$R_{B_2} = \frac{W(\bar{z} - z_A)}{z_B - z_A} = \frac{99.23(2.139 - 1.00)}{3.50 - 1.00} = \mathbf{45.20} \qquad R_A = W - R_{B_2} = \mathbf{54.02}\ \text{kN/m}$$

पहला खंड दोनों आलंबों को क्रमशः 54.02 और 45.21 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

$$R_C = \frac{W(\bar{z} - z_B)}{z_C - z_B} = \frac{99.23(4.861 - 3.50)}{6.00 - 3.50} = \mathbf{54.02} \qquad R_{B_1} = W - R_C = \mathbf{45.20}\ \text{kN/m}$$

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	54.02	54.02	**162.06**
B	3.50	45.21 + 45.21	90.42	**271.26**
C	6.00	54.02	54.02	**162.06**

अधिकतम स्ट्रट भार **P_B = 271.26 kN** (स्तर B): 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

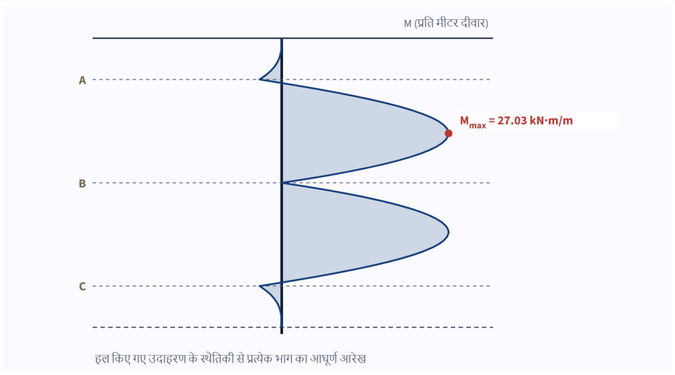
शीट-पाइल का डिज़ाइन इन्हीं खंडों से किया जाता है: प्रत्येक खंड में अधिकतम बंकन आघूर्ण (जहाँ अपरूपण बल चिह्न बदलता है: स्पैन के भीतर या उस आलंब पर जहाँ कैंटिलीवर भाग स्ट्रट से मिलता है) ज्ञात किया जाता है; इनमें सबसे बड़ा दीवार की प्रति इकाई लंबाई के लिए डिज़ाइन आघूर्ण होता है। आवश्यक काट मापांक (Section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

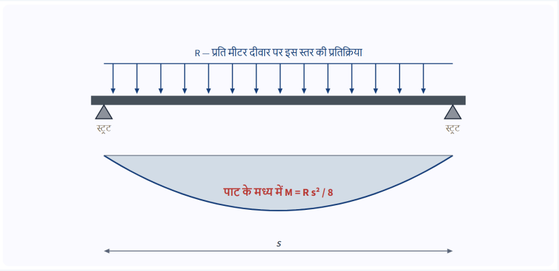
$$M_{max} = \max_{parts} |M| \qquad S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}}$$

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

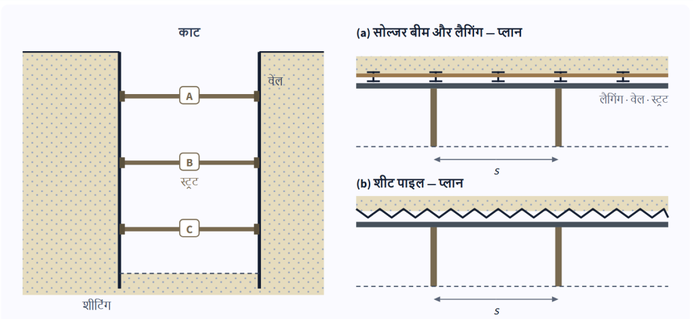
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**उदाहरण 1 का उत्खनन ($H = 7$ m, कठोर मृत्तिका, $\sigma_a = 37.8$ kPa); स्ट्रट 1.0 · 3.5 · 6.0 m पर; क्षैतिज अंतराल $s = 3.0$ 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	27.03	2.30
2	3.50 – 7.00	27.03	4.70

2 आवश्यक काट मापांक (Section modulus)

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{allow}} = \frac{27.03}{170{,}000} = 0.0001590\ \text{m}^3/\text{m} = \mathbf{159.0}\ \text{cm}^3/\text{m}$$

शीट-पाइल में **M_{max} = 27.03 kN·m/m** (खंड 1, z = 2.30 m): **S ≥ 159.0 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	54.02	60.77	357
B	90.42	101.72	598
C	54.02	60.77	357

सबसे बड़ी प्रतिक्रिया **स्तर B पर** है (R = 90.42 kN/m): वेल का आकार निर्धारण **M_{max} = 101.72 kN·m, S ≥ 598 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

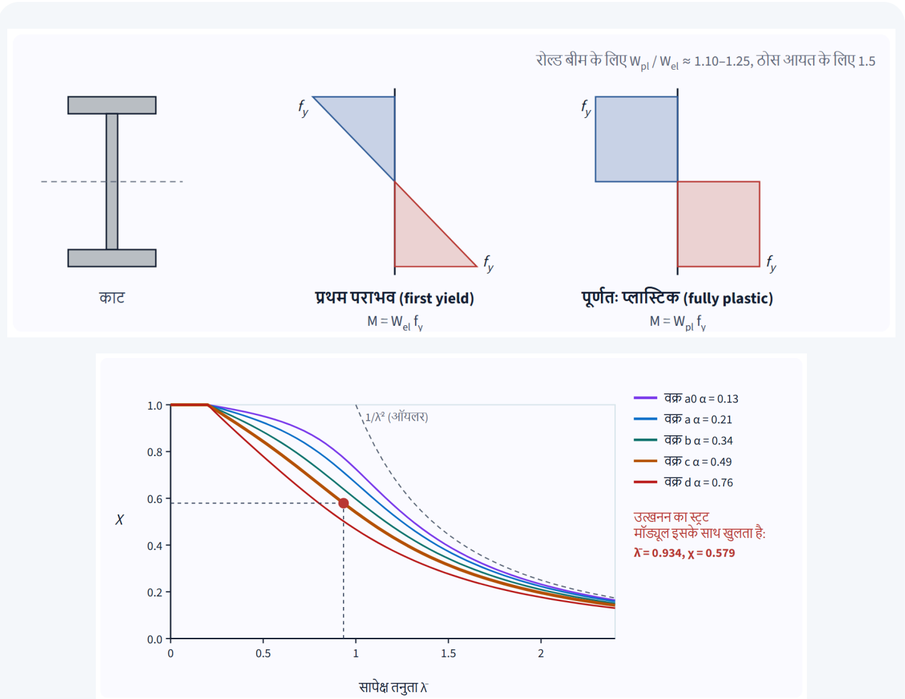
एनवेलप से प्राप्त भार **कार्यशील मान** हैं (Peck एनवेलप मापे गए भारों की ऊपरी सीमा है); इन्हें एक ही बार डिज़ाइन मान तक बढ़ाया जाता है: $E_d = \gamma_F E_k$। प्रत्येक अवयव को उसके अपने इस्पात ग्रेड की पराभव सामर्थ्य (f_y) के साथ सत्यापित किया जाता है; काट को अवयव के **काट मापांक** द्वारा दिया जाता है (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

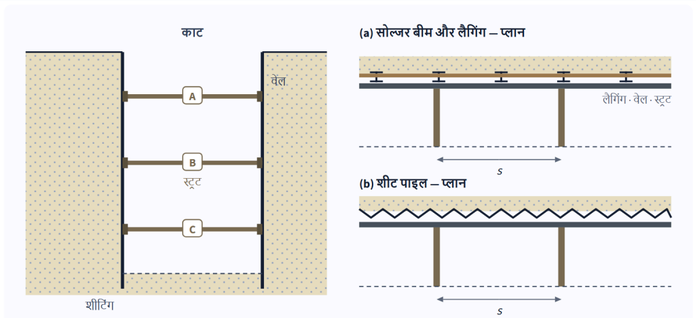
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1 का उत्खनन और उदाहरण 3 के भार:** $P_{max} = 271.26$ **kN (स्ट्रट B)**
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): $\eta = \gamma_F M/(W f_y)$

$$\eta_{sp} = \frac{1.35(27.03)}{600 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{36.49}{165.0} = \mathbf{0.221}$$

$$\eta_{belt} = \frac{1.35(101.72)}{1\,000 \cdot 10^{-6}(275\,000)} = \frac{137.33}{275.0} = \mathbf{0.499}$$

शीट-पाइल η = **0.221**, वेल η = **0.499**: दोनों पर्याप्त हैं ($\eta \le 1$)।

हल (2/2)

हल

2 स्ट्रट (बकलिंग): $N_{Ed} = 1.35\,P_{max} = 1.35(271.26) = 366.20$ 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} = 366.2 / 1,046.4 = **0.350**। 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

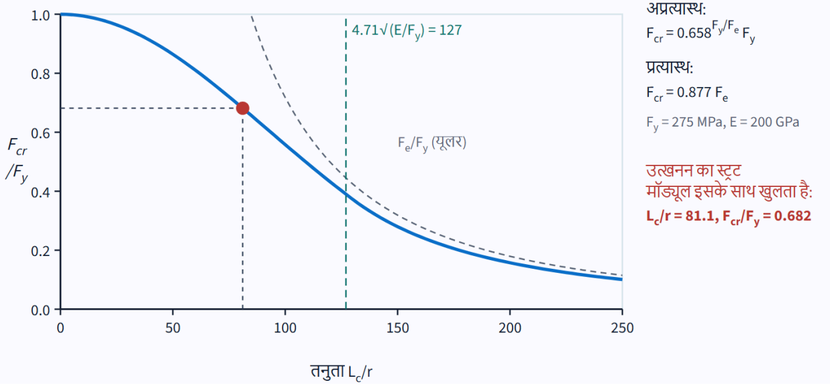
प्रत्येक सदस्य का सत्यापन संपीडन, बंकन और अपरूपण प्रावधानों से प्राप्त **नॉमिनल सामर्थ्य R_n** से किया जाता है। LRFD में भार को गुणित किया जाता है और सामर्थ्य को φ से घटाया जाता है; ASD में कार्यकारी भार की तुलना सामर्थ्य को सुरक्षा गुणांक Ω से भाग देने पर प्राप्त मान से की जाती है:

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

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

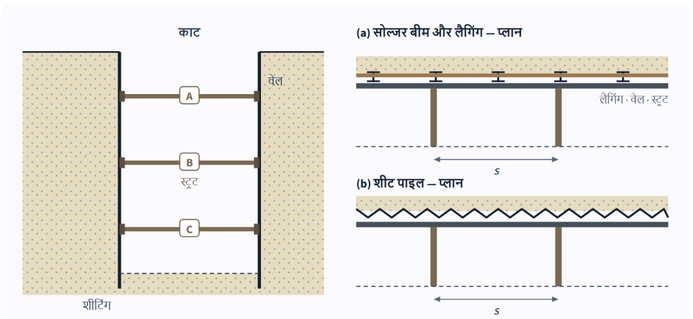
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन और भार	**उदाहरण 1 का उत्खनन और उदाहरण 3 के भार:** $P_{max} = 271.26$ **kN (स्ट्रट B)**
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 L_c/r, F_e, F_{cr}, 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 = 271.26 kN)

LRFD: $P_u = 1.6(271.26) = 434.0\ \text{kN} \le \phi_c P_n = 0.90(1{,}231.5) = 1{,}108.3\ \text{kN} \quad \eta = \mathbf{0.392}$

ASD: $P_a = 271.26\ \text{kN} \le \dfrac{P_n}{\Omega_c} = \dfrac{1{,}231.5}{1.67} = 737.4\ \text{kN} \quad \eta = \mathbf{0.368}$

स्ट्रट: LRFD η = **0.392**, ASD η = **0.368**। शीट-पाइल (LRFD) 0.291, वेल 0.658; EN 1993-1-1 में ये 0.221, 0.499 और 0.350 थे।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Terzaghi स्तंभ, Chang का संशोधन

सिद्धांत

ब्रेस्ड कट स्ट्रट विफल हुए बिना भी विफल हो सकता है: उत्खनन के बगल की मृदा और अधिभार का भार तल के नीचे की मृत्तिका को भीतर और ऊपर की ओर दबाता है। चौड़ाई B′ वाला मृदा स्तंभ तल स्तर पर, cN_c धारण क्षमता ($N_c = 5.7$) वाली मृत्तिका पर भार के रूप में कार्य करता है; पार्श्व फलकों पर अपरूपण प्रतिरोध cH उसे कम कर देता है:

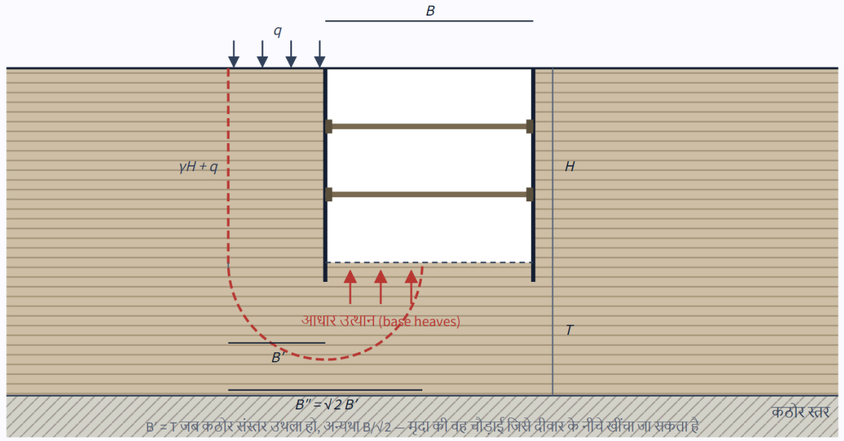
$$FS = \frac{cN_c}{\gamma H + q - cH/B'}$$

समीकरण में **तीन दृष्टियों से सुधार किया गया है**: पार्श्व अपरूपण भार को घटाता नहीं, **प्रतिरोध जोड़ता है**; चौड़ाई B″ की आधार पट्टी ऊपर की ओर भारित नींव की तरह कार्य करती है; उत्खनन तल असीमित होने के कारण $N_c = 5.14$ (चिकनी नींव):

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

B उत्खनन चौड़ाई, L प्लान लंबाई, T आधार के नीचे मृत्तिका की मोटाई; q उत्खनन के पास अधिभार। पूर्णतः ध्वस्त उत्खननों में FS ≈ 1, आंशिक/कम विफल उत्खननों में कुछ ऊपर आता है; अपेक्षित FS ≈ **1.5**।

समरूप मृत्तिका में यदि FS < 1.5 हो तो शीट-पाइल अधिक गहराई तक (सामान्यतः आधार के नीचे B/2 से अधिक नहीं) चालित की जाती हैं; गाड़ी गई लंबाई प्रकाशित डिज़ाइन चार्टों से लिया गया बल वहन करती है।



प्रश्न

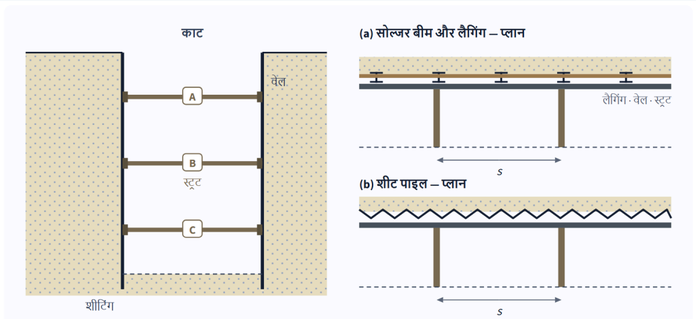
उदाहरण

दिया गया है

खुला उत्खनन	$H = 7$ m, $B = 6$ m, $L = 20$ m; मृत्तिका $\gamma = 18$, $c = 35$ kPa, उत्खनन तल के नीचे मृत्तिका की मोटाई $T = 4$ m; कोई अधिभार नहीं
पाठ्यपुस्तक उदाहरण का उत्खनन	4 m चौड़ा, 15 m लंबा, 6 m गहरा; $\gamma = 17$, $c = 40$ kPa; कठोर परत आधार से 2 m नीचे

ज्ञात करना है

दोनों उत्खननों के लिए **B′**, **B″** और **FS** (≥ 1.5?); प्रारंभिक उत्खनन में यदि कठोर परत न हो और चौड़ाई 10 m हो तो?



हल

हल

1 प्रारंभिक उत्खनन: B/√2 = 4.24 m > T = 4 m, इसलिए B′ = T

$$B' = T = 4.00 \text{ m} \qquad B'' = \sqrt{2}B' = 5.66 \text{ m}$$

$$FS = \frac{5.14(35)\left(1 + 0.2\frac{5.66}{20}\right) + \frac{35(7)}{4.00}}{18(7)} = \frac{190.1 + 61.2}{126} = \mathbf{1.99} \;\geq 1.5 \;\checkmark$$

2 पाठ्यपुस्तक उदाहरण का उत्खनन (T = 2 m ≤ B/√2 = 2.83 m: B′ = T = 2.00 m, B″ = 2.83 m)

$$FS = \frac{5.14(40)\left(1 + 0.2\frac{2.83}{15}\right) + \frac{40(6)}{2.00}}{17(6)} = \mathbf{3.27}$$

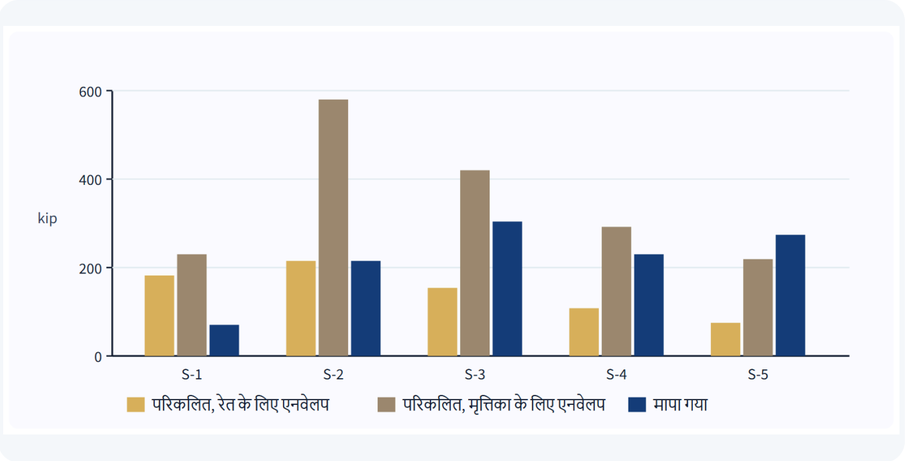
प्रारंभिक उत्खनन में **FS = 1.99** और पाठ्यपुस्तक उदाहरण के उत्खनन में **3.27** है: दोनों ≥ 1.5 हैं। कठोर परत न दिए जाने पर (B′ = B/√2) पाठ्यपुस्तक उदाहरण के उत्खनन में FS घटकर 2.96 हो जाता है; प्रारंभिक उत्खनन में 10 m चौड़ाई और कठोर परत के बिना यह 1.80 तक गिर जाता है (सुरक्षित पक्ष की ओर घटता है): आधार उत्थान चौड़ाई बढ़ने और कठोर परत के अभाव में बिगड़ता जाता 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 (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; 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, σ_a = 282.0 kPa)। Peck एनवेलप ने प्रेक्षित दाब 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 अधिक गहरे उत्खननों से एकत्र किए गए हैं; **एनवेलप किसी भी क्षण दीवार पर वास्तविक दाब नहीं है**: यह सुरक्षित स्ट्रट भार देता है, दीवार का विक्षेप नहीं। मृत्तिका **अनपवाहित** है; रंध्र जल दाब को अलग से ध्यान में नहीं लिया जाता।

एक से अधिक मृत्तिकाओं का औसत मोटाई के अनुसार लिया जाता है (c_{av}, γ_{av}); $\gamma H/c$ इन औसतों से चुना जाता है। अधिभार एनवेलप के बगल में जोड़ा जाता है ($\Delta p = q$), जल केवल इकाई भार को बदलता है।

शीट-पाइल को निश्चित हिंजों 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 (सुरक्षित पक्ष में)। स्टील का सत्यापन EN 1993-1-1 से (क्लास 4 का डिज़ाइन नहीं किया जाता) या AISC 360-22 से किया जाता है।

आधार उत्थान की जाँच Chang के संशोधित समीकरण से की जाती है; आधार के नीचे शीट-पाइल की भेदन गहराई नहीं गिनी जाती (सुरक्षित पक्ष)। अनेक परतों में सूत्र GeoTerva के परतदार विस्तार के साथ प्रयुक्त होता है।

निर्माण के दौरान पार्श्व गति और उत्खनन के आसपास भूमि की हानि अपेक्षित है; कठोर परत हो तो शीट-पाइल उसमें गहराई तक गाड़ी जाती हैं। कोमल मृत्तिका में $\gamma H/c \approx 8$ पर बड़े विस्थापन और स्ट्रटों का ध्वस्त होना देखा जा सकता है।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

एनवेलप: $\gamma H/c > 4$ मृदु–मध्यम ($\sigma_a = \max(\gamma H[1 - 4c/\gamma H], 0.3\gamma H)$); ≤ 4 कठोर ($\approx 0.3\gamma H$)। उदाहरण: $\gamma H/c = 3.6$, $\sigma_a = 37.8$ kPa

अधिभार और जल: $\Delta p = q$ अलग से जोड़ा जाता है; जल केवल $\bar{\gamma}$ को बदलता है। **तनन दरार** $z_c = 2c/\gamma = 3.89$ m; पहला स्ट्रट (1.0 m) उसके ऊपर है

स्ट्रट भार: एनवेलप को हिंज बिंदुओं पर भागों में बाँटा जाता है, प्रतिक्रियाएँ स्थैतिकी से ज्ञात की जाती हैं; उदाहरण में $P_B = 271.26$ kN (दो प्रतिक्रियाओं का योग)

आकार निर्धारण: शीट-पाइल $M_{max} = 27.03$ kN·m/m ($S = 159$ cm³/m), वेल $M = R\,s^2/8 = 101.72$ kN·m ($S = 598$ cm³; $\sigma_{allow} = 170$ MPa)

इस्पात: EN 1993-1-1 $\eta = 0.221 / 0.499 / 0.350$ (शीट-पाइल / वेल / स्ट्रट); AISC LRFD स्ट्रट 0.392, ASD 0.368

आधार उत्थान: $FS = (5.14c(1 + 0.2B''/L) + cH/B')/(\gamma H + q) \geq 1.5$; प्रारंभिक उत्खनन में 2.00, पाठ्यपुस्तक उदाहरण के उत्खनन में 3.27

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 दिया गया हल किया गया उदाहरण भी यही उत्खनन है (H = 7 m, γ = 18 kN/m³, c = 35 kPa, स्ट्रट 1 · 3.5 · 6 m पर)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपने उत्खनन की मृत्तिका प्रोफ़ाइल, स्ट्रट स्तर, अधिभार, जल और संरचनात्मक सदस्य GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल एनवेलप, तनन दरार, 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।