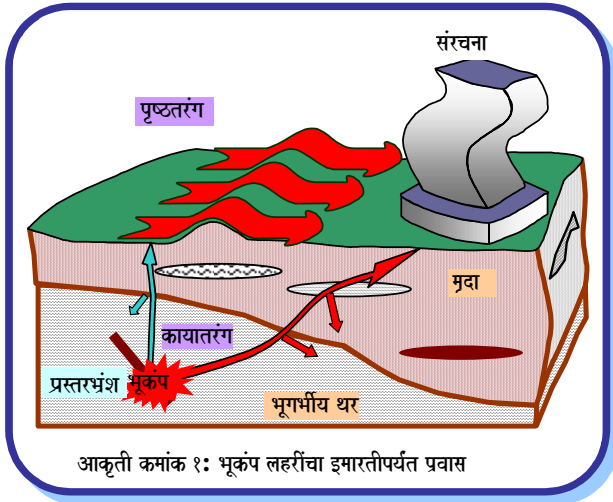


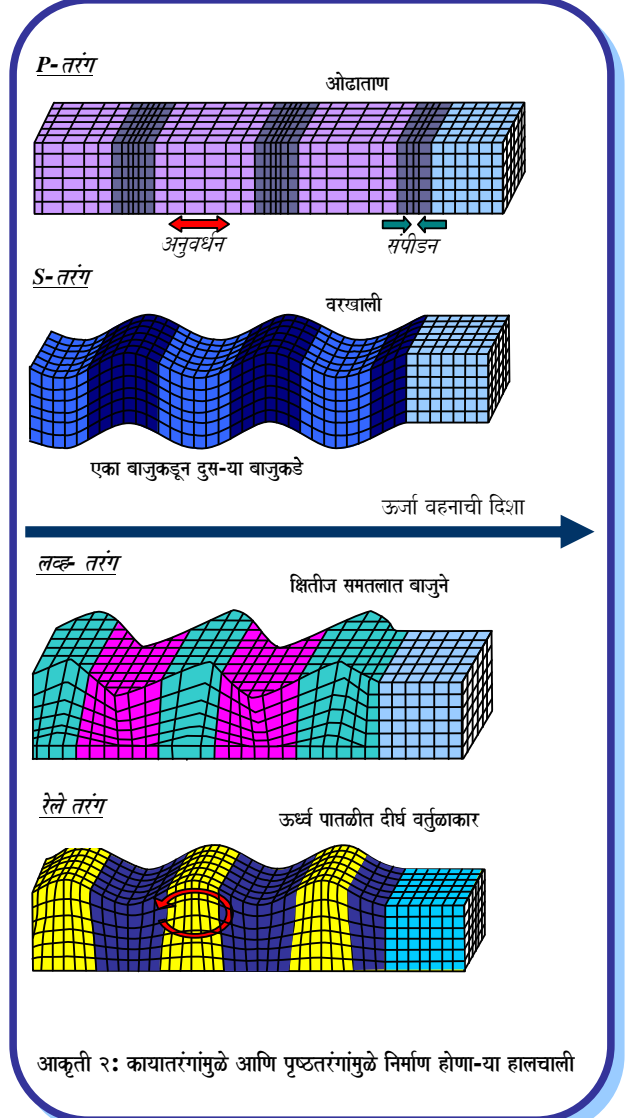
## जमीन कशी हादरते?

### भूकंप लहरी

भूकंपामुळे उत्सर्जित झालेली मोठी विकृति ऊर्जा (strain energy) प्रत्येक अंतर्पृष्ठावरून परावर्तित आणि व.कीमवन होऊन भूकंप लहरींच्या स्वरूपात भूस्तरांमार्फत अनेक दिशांना पसरते. या लहरी दोन प्रकारच्या असतात, काया तरंग (body waves) आणि पृष्ठीय तरंग (surface waves); त्यापैकी पृष्ठीय तरंग हे प्रामुख्याने भूपृष्ठालगतच मर्यादित राहतात (आकृती १). काया तरंगांमध्ये दोन प्रकारच्या लहरी समाविष्ट असतात, त्यांना प्राथमिक लहरी (primary waves) किंवा P तरंग आणि दुय्यम लहरी (secondary waves) किंवा S तरंग या नावाने ओळखले जाते. पृष्ठ तरंगांमध्ये लव्ह तरंग (Love waves) किंवा L तरंग आणि रेल्ले तरंग (Rayleigh waves) या तरंगांचा समावेश होतो. P तरंगांमध्ये पृष्ठीय अंतरंगातील पदार्थाच्या कणांची ऊर्जेच्या प्रवाहाच्या दिशेने संपीडित (compressional) आणि अनुवर्धित (extensional) विकृति (strain) निर्माण होते, परंतु S तरंगांमध्ये ऊर्जेच्या प्रवाहाच्या काटकोनीय दिशेने हे कण कंप पावतात (आकृती २). लव्ह तरंगांमुळे S तरंगांप्रमाणेच भूपृष्ठीय हालचाली निर्माण होतात मात्र त्यात ऊर्ध्व दिशेच्या घटकाचा समावेश नसतो. रेल्ले तरंगांमुळे द्रव्यातील कण दीर्घलंबवर्तुळाकार गतीमध्ये ऊर्ध्व समतलामध्ये कंप पावतात (यात ऊर्जावहनाच्या क्षितीज रेषेतील गतीचा देखील समावेश होतो).

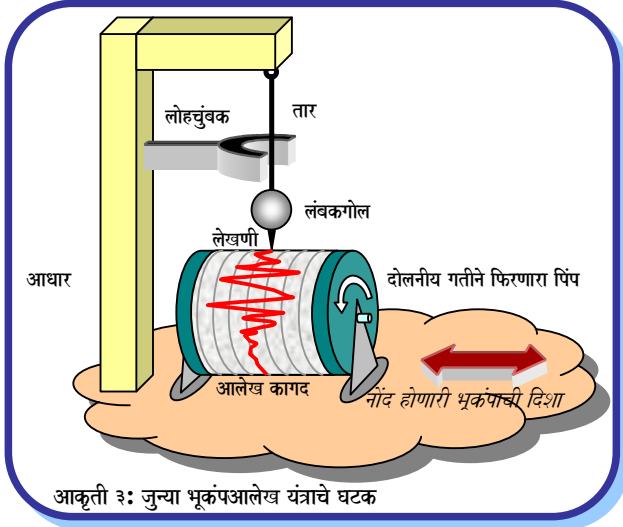


P तरंग सर्वाधिक गतिमान असून, त्या खालोखाल S तरंग, लव्ह आणि रेल्ले तरंगांची गती असते. उदा., गॅनार्ईटमध्ये, P तरंग आणि S तरंगांची गती अनु.कमे ~४.८ कि.मी. प्रती सेकंद आणि ~३.० कि.मी. प्रती सेकंद इतकी असते. S तरंग द्रव्य पदार्थांमधून विचरण करित नाहीत. S तरंग, लव्ह तरंगांच्या परिणामांच्या सोबतीने ऊर्ध्व आणि क्षितीज दिशेतील सोपानी (racking) हालचाली इमारतींना जास्तीत जास्त विध्वंसकारक क्षति करतात. जेव्हा P तरंग आणि S तरंग जमिनीच्या पृष्ठभागापर्यंत पोहोचतात, तेव्हा त्यांच्यातील बहुतांशी ऊर्जा उलट परावर्तित होते. यापैकी काही ऊर्जा पुन्हा जमिनीखालील माती किंवा खडकांच्या विविध स्तरांवरून भूपृष्ठाकडे परावर्तित होते. भूकंपाच्या कंपनांची तीव्रता जमिनीच्या पृष्ठभागाजवळ त्याखालील भूकंपाच्या लक्षणीय खोलीपेक्षा अधिक तीव्र (जवळजवळ दुप्पट) असते. हाच संरचनांचे बांधकाम करताना जमिनीच्या खाली असलेल्या संरचना जमिनीवरील संरचनांपेक्षा कमी त्वरण (smaller level acceleration) विरोधक बांधण्यासाठी आधार असतो.



### भूकंप मापक उपकरणे

जे उपकरण भूकंपाची कंपने मोजते, त्या भूकंपमापक उपकरणाचे प्रामुख्याने तीन भाग पडतात – सवेदक (sensor), आलेखक (recorder) आणि कालमापक (timer). हे उपकरण अत्यंत साध्या तत्वावर आधारित असून जुन्या भूकंपआलेख उपकरणात मोठ्या प्रमाणावर वापरण्यात येत असे (आकृती ३) – एका टराविक दोलनीय गतीने फिरणा-या पिंपाच्या पृष्ठभागावरील आलेख कागदावर (एका कंपन पावणा-या लंबकाच्या टोकावर जोडलेल्या) लेखणीच्या सहाय्याने भूकंप लहरींची नोंद केली जाते. तारेच्या भोवती जोडलेले लोह चुंबक आवश्यक अवमंदन निर्माण करते त्यामुळे आंदोलनांचा आयाम (amplitude) कमी होण्यास मदत होते. लंबकाचे वजन, त्याचा धागा, लोहचुंबक आणि आधारासाठी असलेली चौकट (frame) या सर्वांचा सवेदकामध्ये समावेश होतो; पिंप, लेखणी आणि आलेख कागद मिळून नोंदणी करण्याचे काम करतात; आणि टराविक गतीने पिंपास दोलनीय गती देणा-या मोटरचा कालमापक म्हणून वापर होतो.



भूकंपाच्या काटकोनातील दोन क्षितीज दिशांकडून येणा-या लहरींचे मोजमाप करण्यासाठी प्रत्येकी एक अशा दोन उपकरणांची गरज भासते. अर्थातच, भूकंपामुळे निर्माण होणा-या ऊर्ध्व कंपनांचे मोजमाप करण्यासाठी तारेचा लोलका (आकृती ३) न वापरता एका आधारावर हेलकावे खाणा-या स्प्रिंग लोलकाचा वापर केला जातो. काही प्रकारच्या उपकरणांमध्ये कालमापक उपकरणे वापरली जात नाहीत (म्हणजेच, आलेख कागद असलेला पिंप दोलनीय गतीने फिरत नाही). अशा उपकरणांद्वारे भूकंपीय गतीचा केवळ अधिकतम आंदोलनविस्तार मोजला जातो; म्हणूनच त्यांना भूकंपदर्शक यंत्र (seismoscope) असे संबोधले जाते.

यासाठी अनेक प्रकारची अनुरूप (analog) पध्दतीची उपकरणे विकसित झाली, परंतु आज, संगणकीय तंत्राच्या सहाय्याने निर्माण झालेली अंकीय उपकरणे (digital) यासाठी वापरली जातात. अशा उपकरणांमध्ये भूकंपलहरी या उपकरणांमध्ये समाविष्ट असलेल्या माय.क्रोप्रोसेसरवर (microprocessor) साठविल्या जातात.

### तीव्र भूकंप लहरी

जमिनीखाली प्रस्तरभंगातील त्रिभुज द्रव्याच्या भंशामुळे (fault rupture) प्रत्येक द्रव्य विंदूजवळ मोठ्या प्रमाणावर उत्सर्जित झालेल्या ऊर्जेमुळे निर्माण झालेल्या भूकंपीय लहरींची निव्वळ उत्पत्ती म्हणजे भूपृष्ठावरील जमिनीचे हादरे होत. या भूकंप लहरी वेगवेगळ्या वेळी येतात, त्यांचा आंदोलन आयाम आणि त्यांच्यामधील ऊर्जेची पातळी देखील वेगवेगळी असते. म्हणजेच, जमिनीवरील कुठल्याही ठिकाणी भूकंपलहरींचे स्वरूप अनिश्चित असे असून त्यांचा आंदोलन आयाम आणि दिशा दरवेळी अनिश्चित स्वरूपाने बदलत असतात.

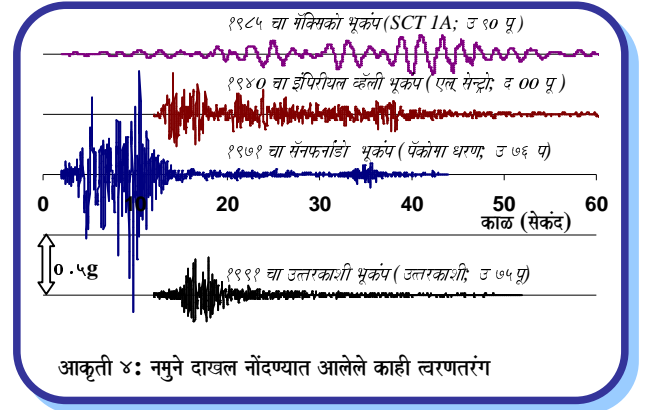
दुर अंतरावर घडून येणा-या भूकंपामुळे कमकुवत हालचाली निर्माण होतात आणि त्या संरचनाना कुठलीही क्षति करित नाही किंवा मनुष्याला त्यांची जाणीव देखील होत नाही. पण, अतिशय संवेदनशील असणा-या उपकरणांद्वारे त्यांची नोंद घेतली जाते. अशा उपकरणांमुळे दूर अंतरावर होणा-या भूकंपाची नोंद घेणे शक्य होते. तथापि, अभियांत्रिकी दृष्टिकोनातून, तीव्र भूकंप लहरींमुळे बांधकामाचे होणारे नुकसान अधिक महत्त्वाचे ठरते. म्हणूनच एखादया स्थळाच्या जवळ होणारे भूकंप किंवा साधारण ते दूर अंतरावर घडून येणारे मोठे भूकंप या दृष्टिने महत्त्वाचे ठरतात.

### तीव्र भूकंप लहरींची वैशिष्ट्ये

भूपृष्ठाची होणारी हालचाल तीन माध्यमांतून मोजता येते जमिनीचे विस्थापन, तिचा वेग आणि त्वरण इत्यादी. जमिनीवरील एखादया ठिकाणी भूकंपामुळे जमिनीच्या त्वरणामध्ये वेळेनुसार होणा-या बदलास त्वरणतरंग (accelerogram) असे संबोधतात. या त्वरणतरंगाचा स्वभाव (आकृती ४) त्याच्या उगम स्थळाजवळ उत्सर्जित होणारी ऊर्जा, घसरणीच्या प्रस्तरभंगाचा प्रकार, प्रस्तरभंगापासून ते भूपृष्ठापर्यंतची भूगर्भीय वैशिष्ट्ये,

तेथील स्थानिक मातीचा प्रकार (आकृती १) इत्यादी अनेक बाबींवर अवलंबून असतो. त्वरणतरंगांमुळे भूकंप लहरी, कमाल आंदोलन आयाम, तीव्र लहरींचा कालावधी, वारंवारितेची धारणाशक्ती (frequency content) (उदा. हाद-यांच्या प्रत्येक वारंवारितेशी निगडित आयाम) तसेच ऊर्जेचे प्रमाण (energy content) (हाद-यांच्या प्रत्येक वारंवारितेशी निगडित ऊर्जा) इ. अनेक बाबींची माहिती मिळते. तसेच त्यांच्यातील फरक स्पष्ट करण्यासाठी देखील या वैशिष्ट्यांचा उपयोग होतो.

उच्चतम आयाम (उच्चतम भूत्वरण, peak ground acceleration, PGA) या नावावरूनच त्या संज्ञेचा अर्थबोध होतो. उदाहरणार्थ, क्षितीज उच्चतम भूत्वरण 0.६g म्हणजे (0.६g = पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या 0.६ पट) भूकंपाच्या हालचालीमुळे एखादया बांधकामामध्ये त्याच्या वजनाच्या ६०% इतके कमाल क्षितीज बल निर्माण होईल असे दर्शविते. ज्यावेळी एखादी संरचना अनम्य (rigid) असते त्यावेळी, त्यातील सर्व विंदू जमिनीसह एकाच प्रमाणात हलतात आणि म्हणूनच सारखेच कमाल उच्चतम त्वरण अनुभवतात. क्षितीज उच्चतम त्वरणाची १.०g पेक्षा अधिक मूल्यांची नोंद प्रथमतः अमेरिकेतील नॉर्थब्रिज (Northridge) येथील भूकंपाच्या वेळी सन १९९४ मध्ये घेतली गेला. साधारणपणे तीव्र लहरींच्या मध्ये समावेश असलेल्या उल्लेखनीय ऊर्जेची वारंवारिता 0.०३ ते ३० हर्ट्झ (म्हणजेच, आवर्तन प्रती सेकंद) या दरम्यान असते.



साधारणपणे, काटकोनातील दोन क्षितीज दिशांचा उच्चतम आयाम हा सारखाच असतो. तथापि, ऊर्ध्व दिशेचा उच्चतम आयाम हा क्षितीज दिशेतील उच्चतम आयामापेक्षा कमी असतो. मानकानुसार संकल्पित ऊर्ध्वत्वरण (design vertical acceleration) हे संकल्पित क्षितीज त्वरणाच्या (design horizontal acceleration) १/२ ते २/३ इतके घेतले जाते. याच्या विरुद्ध म्हणजेच प्रस्तरभंगाच्या जवळपासच्या भागात क्षितीज आणि ऊर्ध्व उच्चतम त्वरणामध्ये असा परस्पर संबंध नसतो.

### संदर्भिय साहित्य

- वोल्ट वी.ए., (१९९९), अर्थक्वेक्स, चौथी आवृत्ती, डब्ल्यू. एच. फीमन आणि कंपनी, न्युयॉर्क, अमेरिका
- स्थापत्य अभियांत्रिकी परिभाषा कोश, भाषा संचालनालय, महाराष्ट्र शासन, मुंबई

लेखक: सी. व्ही. आर. मुर्ति, भारतीय पौद्योगिकी संस्थान कानपूर, कानपूर, भारत  
 प्रायोजक: बांधकाम साहित्य आणि पौद्योगिकी संवर्धक मंडळ, नवी दिल्ली, भारत  
 अनुवाद: शुभदा अ. गडकर, कार्यकारी अभियंता, सार्वजनिक बांधकाम विभाग, महाराष्ट्र शासन  
 परिक्षण: डॉ. एम्. एम्. बसोले, माजी अधिव्याख्याता, व्ही. आर. सी. ई., नागपूर आणि डॉ. ओमप्रकाश जयस्वाल, सहाय्यक अधिव्याख्याता, व्ही. एन्. आय. टी., नागपूर

हे प्रकाशन आर्.आय.टी.कानपूर आणि व्ही.एम्.टी.पी.सी. नवी दिल्ली यांच्या मालकीचे आहे. या सूचना त्यातील विषयांमध्ये बदल न करता आणि योग्य पोंच देऊन पुनर्निर्मित करता येऊ शकतील. आपल्या सूचना/अभियाय कृपया [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) या ई-मेलवर पाठवाव्यात. या आधीच्या आर्.आय.टी.के., व्ही.एम्.टी.पी.सी. भूकंप सूचना वगण्याकरिता [www.nicee.org](http://www.nicee.org) किंवा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) या संकेतस्थळांचा भेट द्या. नोव्हेंबर २००७