



2.1 การสั่นสะเทือนของคลื่น (seismic waves) ใน elastic half-space

ความเข้าใจปรากฏการณ์เกี่ยวกับการแผ่ของคลื่นใน half-space เป็นพื้นฐานของการลดความสั่นสะเทือน เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นหลายด้านเช่น แผ่นดินไหว (earthquakes), การระเบิด (explosions), การตอกเข็ม (pile driving), การสั่นสะเทือนจากฐานรากเครื่องจักร (vibrating machine footings), การขนส่ง (transport) ฯลฯ ซึ่งอาจจะอยู่ภายในหรือบนผิวของ half-space เนื่องจากฐานรากของอาคารและเครื่องจักรตั้งอยู่บนหรือใกล้ผิวดิน ดังนั้นการแผ่ของคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นบนผิวดิน (surface source) จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเริ่มแรกในการลดความสั่นสะเทือน

ความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์การแผ่ของคลื่นผ่านดินซึ่งสมมติว่า homogeneous, isotropic, elastic half-space นั้นได้ศึกษาโดย Kolsky (1963)⁽¹⁵⁾, Ewing, Jardetzky and Press (1957)⁽⁷⁾, Barkan (1962)⁽¹⁾, Grant and West (1965)⁽⁸⁾, Lamb (1964)⁽¹⁶⁾, Richart, Hall and Woods (1969)⁽²⁸⁾ and others ในทฤษฎีของ elastic half-space นั้นได้แบ่งชนิดของคลื่นออกเป็นสองชนิดคือ body waves และ surface waves, body waves มีคลื่นที่สำคัญสองชนิดคือ compression wave (P-wave) และ shear wave (S-wave) ส่วน surface wave ที่สำคัญคือ Rayleigh wave (R-wave)

Miller and Purdey (1955)⁽²²⁾ ได้ทดลองคลื่น (oscillate) ฐานกลม (circular disc) ในแนวตั้ง บนผิวของ homogeneous isotropic, elastic half-space มี Poisson's ratio 0.25 ($\nu = 0.25$) พบว่าการกระจาย (distribution) ของพลังงานทั้งหมด (total input energy) 67% เป็น Rayleigh wave, 26% เป็น shear wave และ 7% เป็น compression wave

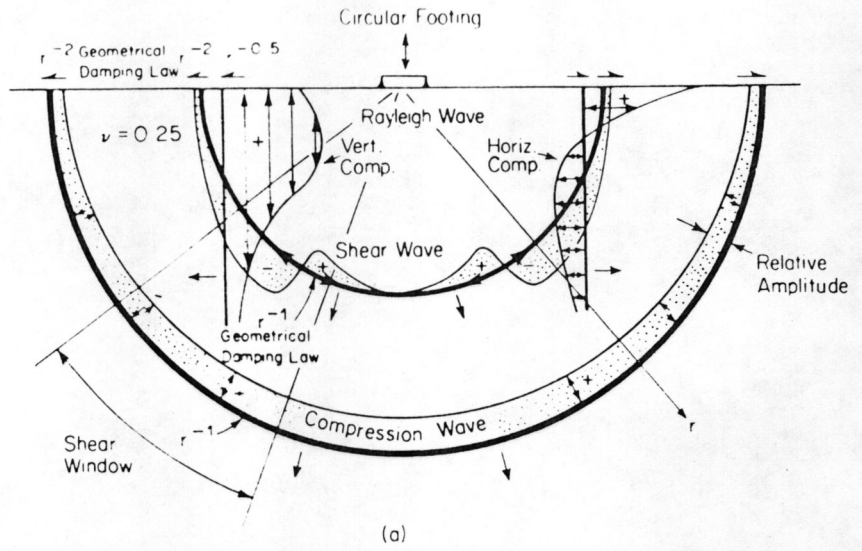
รูปที่ 2.1 แสดงถึงการแผ่ของคลื่นจากแหล่งกำเนิดฐานรากกลม (circular

footing) บนผิวของ homogeneous isotropic elastic half-space มี Poisson's ratio 0.25 body waves แผ่ไปตามรัศมี มีหน้าคลื่นเป็นครึ่งทรงกลม (hemispherical wave fronts) การเคลื่อนที่ของอนุภาค (partical motion) ของ P-wave เป็นการอัดและดึง (push-pull motion) ในทิศทางของหน้าคลื่น S-wave นั้น การเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นการเปลี่ยนรูปตามขวาง (transveral displacement) ตั้งฉากกับทิศทางของหน้าคลื่น ส่วน Rayleigh wave แผ่ไปตามรัศมีมีหน้าคลื่นเป็นทรงกระบอก (cylendrical wave front) การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ผิวของ half-space นั้นเป็น retrograde ellipse ประกอบด้วยทางแนวตั้งและแนวนอน (vertical and horizontal component) ดังรูปที่ 2.2

เมื่อคลื่นผ่านตัวกลางมากขึ้นทำให้พลังงานหรือ Amplitude ลดลงเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น (r) เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่า "geometrical damping" Ewing, Jar-detzdy and Press (1967)⁽⁷⁾ ได้แสดงว่า Amplitude ของ body wave ลดลงเป็นสัดส่วนกับ $1/r$ (ยกเว้นการแผ่ไปตามผิวเป็น $1/r^2$) ส่วน surface wave Amplitude ลดลงเป็นสัดส่วนกับ $1/r^{0.5}$

เนื่องจากพลังงานทั้งหมดที่ส่งผ่านเป็น Rayleigh wave เสียส่วนมาก (2/3 ของ total input energy) ซึ่งค่อย ๆ เสื่อม (Attenuate) ไปอย่างช้า ๆ บนผิวดินเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลาที่ลึกลงไปจากผิวดิน ส่วน body wave จะเสื่อม (attenuate) อย่างรวดเร็วเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้น ดังนั้น Rayleigh wave จึงเป็นปัญหาสำคัญต่อการลดความสั่นสะเทือน



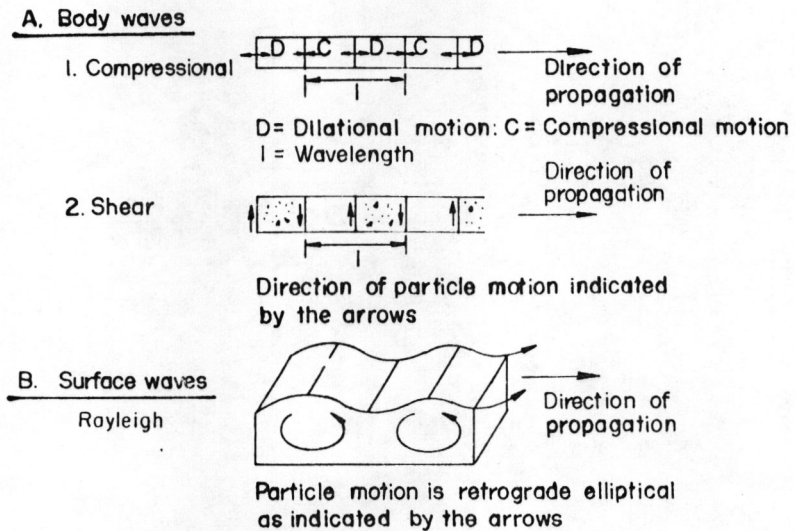


Wave Type	Per Cent of Total Energy
Rayleigh	67
Shear	26
Compression	7

(b)

* According to Lysmer (1966), a distance of 2.5 wave lengths from the source is a large distance.

รูปที่ 2.1 แสดงการกระจายของ displacement waves จากการเขย่าฐานรากกลมบน homogeneous, isotropic, elastic half-space (จาก Woods, 1968)⁽⁴⁰⁾



Characteristics of Seismic Waves

รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของคลื่นสั่นสะเทือน

ตาราง 2.1 แสดงความเร็วของ P-waves และ S-waves ในดินชนิดต่าง ๆ กัน (จาก Barkan, 1962)⁽¹⁾

Soil	$\rho, \frac{\text{kg-sec}^2}{\text{cm}^4} \times 10^{-6}$	$v_p, \text{m/sec}$	$v_s, \text{m/sec}$
Moist clay	1.8	1,500	150
Loess at natural moisture	1.67	800	260
Dense sand and gravel	1.7	480	250
Fine-grained sand	1.65	300	110
Medium-grained sand	1.65	550	160
Medium-sized gravel	1.8	750	180

2.1.1 ความเร็วของคลื่น

P-wave, v_p

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad (1)$$

λ and G = Lamé's constants

= (G = shear modulus)

ρ = the mass density of the material

= γ/g where γ is the unit weight and

$g = 32 \text{ ft/sec}^2$

ν = poisson's ratio

$$\lambda = \frac{2\nu G}{(1-2\nu)}$$

S-wave, v_s

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2)$$

R-wave, v_r

$$v_r = k \cdot v_s$$

$$k = \text{constant} \quad (0.874 \leq k \leq 0.955)$$

ค่าของ k สามารถหาได้จากสมการ

$$K_1^6 - 8K_1^4 + (24 - 16\alpha_1^2)K_1^2 + 16(\alpha_1^2 - 1) = 0 \quad (3)$$

$$\alpha_1^2 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}$$

ในทางปฏิบัติความเร็วของ shear wave และ Rayleigh wave ถือว่าเท่ากัน
ในดินทั่ว ๆ ไปความเร็วของ surface wave ประมาณ 200 เมตรต่อวินาที (Barkan,
1962)⁽¹⁾

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของ amplitude กับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น

เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้น amplitude ในแนวตั้งของ R-wave
ลดลง เนื่องจาก "geometrical damping" ได้แสดงไว้ดังนี้

$$A_r = A_o \sqrt{\frac{r_o}{r}}$$

A_o = amplitude ของ R-wave ในแนวตั้งที่ระยะ r_o จากแหล่งกำเนิดคลื่น

A_r = amplitude ของ R-wave ในแนวตั้งที่ระยะ r จากแหล่งกำเนิดคลื่น

เนื่องจากดินไม่เป็นตัวกลางยืดหยุ่นที่สมบูรณ์แบบ การลดลงของ amplitude ในแนวตั้งของ R-wave มากขึ้น เนื่องจาก "material damping" ซึ่งดินจะดูดซับพลังงานคลื่น (wave energy absorption) ดังนั้นสมการข้างต้นจึงเป็น

$$A_r = A_o \sqrt{\frac{r_o}{r}} \cdot e^{-\alpha(r-r_o)}$$

α = สัมประสิทธิ์ของการดูดซับพลังงานคลื่น

(Coefficient of wave energy

absorption, มีหน่วยเป็น 1/ระยะทาง)

ตาราง 2.2 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ของการดูดซับพลังงานคลื่น (α) ของดินชนิดต่าง ๆ (Barkan 1962)⁽¹⁾

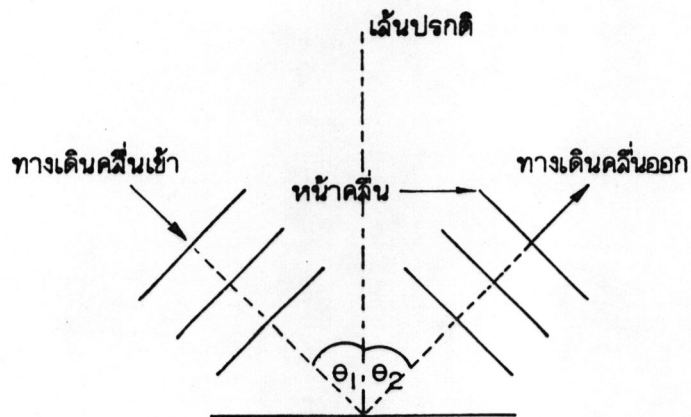
No.	Soil	Coefficient of absorption, m^{-1}
1	Yellow water-saturated fine-grained sand	0.100
2	Yellow water-saturated fine-grained sand in a frozen state	0.060
3	Gray water-saturated sand with laminae of peat and organic silt	0.040
4	Clayey sands with laminae of more clayey sands and of clays with some sand and silt, above ground-water level	0.040
5	Heavy water-saturated brown clays with some sand and silt	0.040-0.120
6	Marly chalk	0.100
7	Loess and loessial soil	0.100

2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่น

การแผ่ของคลื่นมีคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

2.2.1 การสะท้อน (reflection) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงเขตซึ่งอาจเป็นปลายสุดหรือเป็นเขตระหว่างตัวกลาง เนื่องจากแนวของหน้าคลื่นตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ เราอาจจะหาทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าและออกได้ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่นคือ

มุมตกเท่ากับมุมสะท้อนดังรูปที่ 2.3

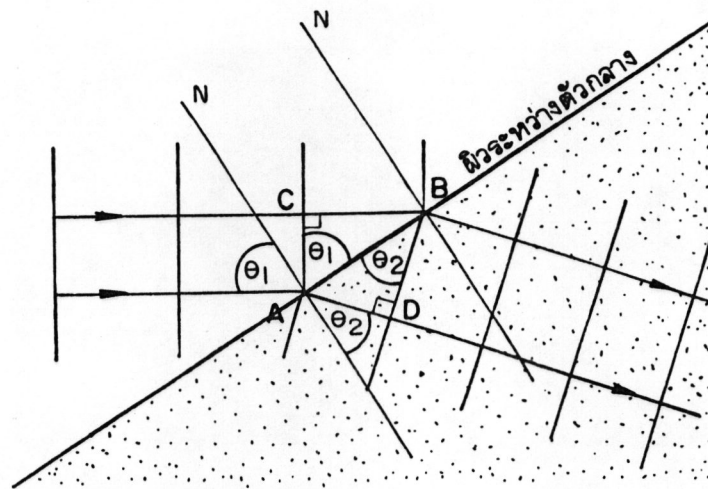


รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนของคลื่น

2.2.2 การหักเหของคลื่น (refraction) คือการที่คลื่นเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ดังรูปที่ 2.4

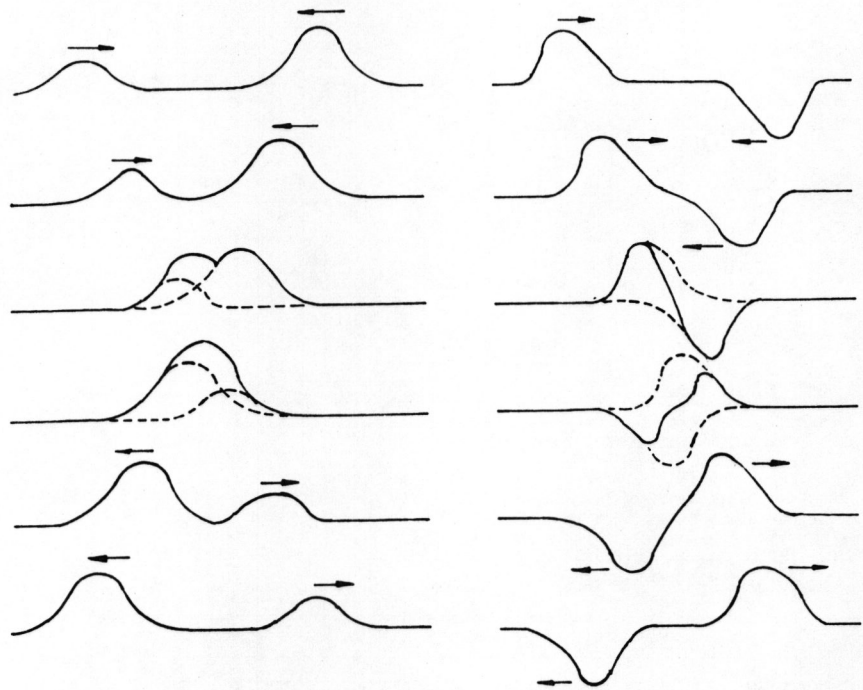
ถ้าความเร็วของคลื่นในตัวกลางหนึ่งเป็น v_1 มีความยาวคลื่น λ_1 เมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่งโดยความถี่ของคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงแล้วมีความเร็ว v_2 และความยาวคลื่น λ_2 ดังรูปที่ 2.4 ถ้าระยะ BC คือ λ_1 ในตัวกลางที่หนึ่งแล้ว ระยะ AD จะเป็น λ_2 ในตัวกลางที่สอง จากเรขาคณิตจะได้ว่า มุม CAB เท่ากับ θ_1 และมุม ABD เท่ากับมุม θ_2 ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนทิศของคลื่นที่สัมผัสกับหน้าคลื่น

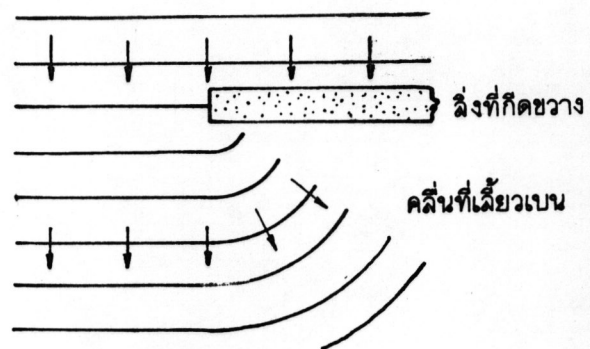
2.2.3 การแทรกสอด (interference) การเสริมกันหรือหักล้างกันของคลื่นซึ่งเป็นไปตามหลักการรวมกันได้ของคลื่น (superposition principle) เช่นถ้ามีคลื่นจากแหล่งกำเนิดสองแหล่งมาถึงจุด ๆ หนึ่งพร้อมกัน ผลของการเปลี่ยนแปลง ณ จุดนั้นจะเป็นผลบวกของคลื่นจากทั้งสองแหล่ง ถ้าคลื่นจากทั้งสองแหล่งอยู่ในสภาวะของการขึ้นหรือลงในทางเดียวกัน ณ จุดนั้นจะมีการขึ้นหรือลงมากขึ้นอีก 1 เป็นการเสริมกันดังรูปที่ 2.5 แต่ถ้าคลื่นทั้งสองแหล่งอยู่ในสภาวะขึ้นหรือลงในทางตรงข้ามกัน ณ จุดนั้นก็จะมีการขึ้นหรือลงน้อยหรือไม่ขึ้นหรือลงเลย เพราะเป็นการหักล้างกัน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 การรวมคลื่นแบบเสริมกัน

รูปที่ 2.6 การรวมคลื่นแบบหักล้างกัน

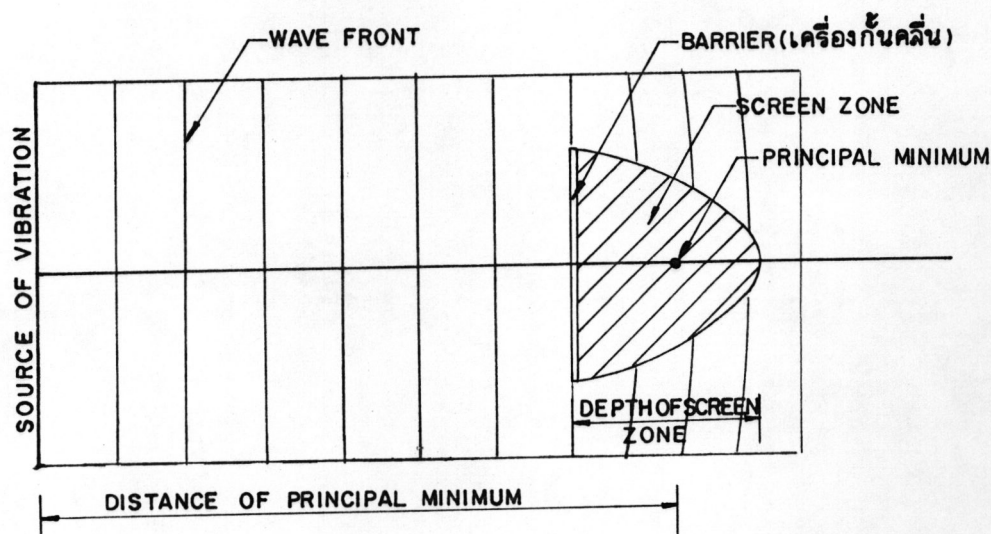
2.2.4 การเลี้ยวเบน (diffraction) เมื่อสิ่งกีดขวางกั้นการเคลื่อนที่ของคลื่นจะพบว่าคลื่นส่วนหนึ่งที่แผ่ออกจากมุมของสิ่งกีดขวางไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้นดังรูปที่ 2.7 การที่คลื่นเลี้ยวเบนผ่านขอบของสิ่งกีดขวางได้เรียกว่า การเลี้ยวเบน



รูปที่ 2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านขอบสิ่งกีดขวาง

2.3 แนวความคิดด้านฟิสิกส์ในการลดความสั่นสะเทือนจาก R-wave

เมื่อคลื่นแผ่เป็นเส้นตรง (linear wave propagation) ไปตามผิวดินพบกับเครื่องกั้นคลื่น (barrier) ที่วางขนานกับหน้าคลื่น (wave front) จะเกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับการเลี้ยวเบน (diffraction) ของคลื่นหลังเครื่องกั้นคลื่น ซึ่งคลื่นค่อย ๆ อด (penetrate) ทางด้านซ้ายและด้านขวาของเครื่องกั้นคลื่น ทำให้เกิดพื้นที่สงบขึ้นเรียกว่า "Screen zone" ซึ่งมีขอบเขตเป็นรูปแหลม (sharp boundary) เมื่อคลื่นผ่าน screen zone ไปแล้ว การแผ่ของคลื่นจะเหมือนเดิม ระยะห่างจากเครื่องกั้นคลื่นถึงขอบเขตปลายสุดของ screen zone เรียกว่า "depth of screen zone" ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นหลังเครื่องกั้นคลื่น (BARRIER)

ภายใน screen zone ค่า amplitude reduction factor (ARF)¹ หรือ relative change in amplitude น้อยที่สุดหลังเครื่องกั้นคลื่น เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้น ค่า ARF เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับหนึ่งตรงขอบเขตและนอกขอบเขตของ screen zone แสดงว่าเครื่องกั้นคลื่นมีผลน้อยลงต่อการลด amplitude เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้น เมื่อพิจารณาแนวที่ตั้งฉากกับหน้าคลื่นจะมีตำแหน่งซึ่ง amplitude ลดลงน้อยที่สุดเรียกตำแหน่งนี้ว่า "principal minimum" ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น

¹ARF คือ อัตราส่วนของ amplitude เมื่อมีเครื่องกั้นคลื่นต่อ amplitude เมื่อไม่มีเครื่องกั้นคลื่นตรงตำแหน่งเดียวกัน



ถึงตำแหน่งนี้เรียกว่า "distance of principal minimum" ดังรูปที่ 2.8

ARF และ depth of screen zone ขึ้นกับขนาดของเครื่องกั้นคลื่น (screen dimension) เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (λ_R) ถ้าเครื่องกั้นคลื่นมีความยาวและความลึกมาก เทียบกับความยาวคลื่น ($L/\lambda_R, H/\lambda_R$) ค่า ARF ลดลง ส่วน depth of screen zone เพิ่มขึ้น (ความกว้างของเครื่องกั้นคลื่นมีผลน้อยต่อการกั้นคลื่น)

ที่กล่าวมานั้น ได้นำแนวความคิดมาจากคลื่นเสียงในอากาศ (sound wave in air) และการแผ่ของคลื่นในน้ำ (wave propagation in water) ซึ่งมีความแตกต่างจากคลื่นในดิน (wave in soil) เครื่องกั้นคลื่นไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) ยังมีผลต่อการขัดขวาง (interception) การกระจาย (scattering, dissipation) การส่งผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) ของ surface wave อีกด้วย

การแก้ปัญหาทางทฤษฎีเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนและการกระจายของ body waves ในตัวกลางยืดหยุ่น (elastic media) โดยใช้เครื่องกั้นคลื่นที่เป็นรูปทรงต่าง ๆ เช่น ทรงกระบอก (cylinders), ทรงกลม (spheres) โดย Tyutekin (1959)⁽³⁵⁾, Knopoff and Gangi (1960)⁽¹⁴⁾, Baron and Matthews (1961)⁽²⁾ ส่วนการแก้ปัญหาทางทฤษฎีเกี่ยวกับการสะท้อนและการส่งผ่านของ surface waves ตรงมุม (corners) โดย Viktorov (1958)⁽³⁶⁾, de Bremaecker (1958)⁽⁵⁾, Knopoff and Gangi (1960)⁽¹⁴⁾, Pilant et al (1964)⁽²⁶⁾, Kane and Spence (1963)⁽¹²⁾

อย่างไรก็ตามทฤษฎีที่ได้บรรยายถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ surface wave เมื่อพบกับเครื่องกั้นคลื่นที่มีขนาดจำกัด (finite dimension) ยังไม่เสร็จในเวลานี้

2.4 ประสิทธิภาพของเครื่องกั้นคลื่น (barrier effective criteria)

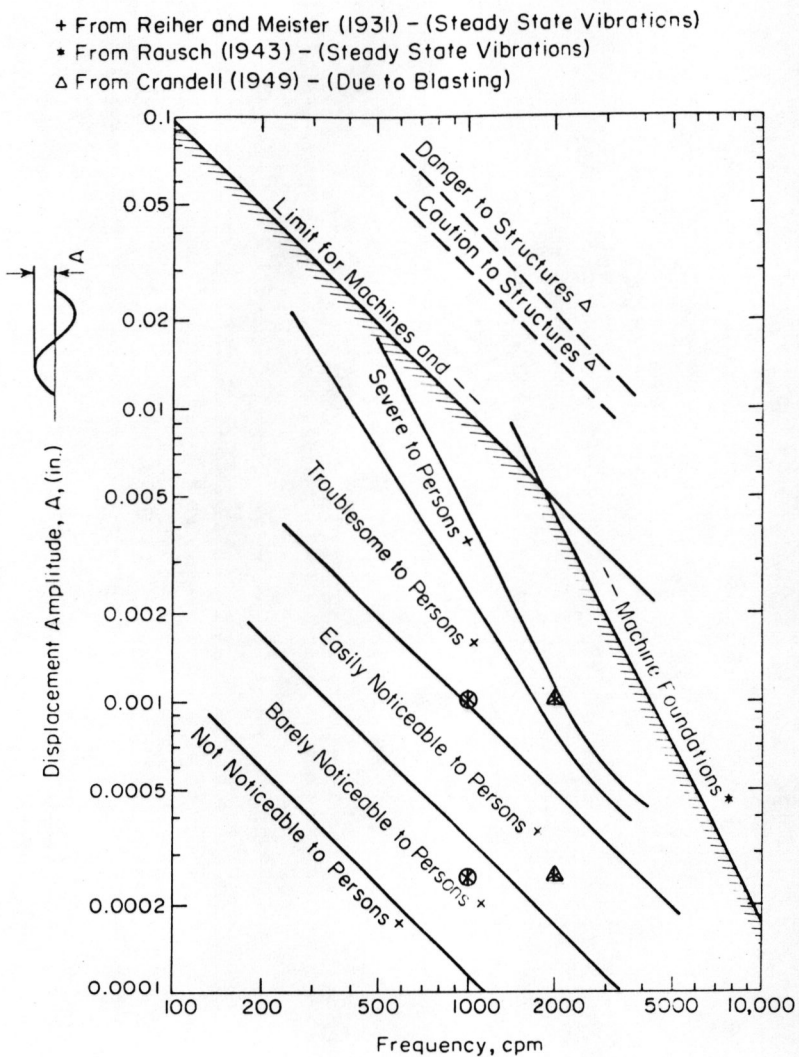
ประสิทธิภาพของเครื่องกั้นคลื่นขึ้นกับกฎเกณฑ์ (criteria) ดังนี้

1. Amplitude reduction factor (ARF) ≤ 0.5 for Barkan (1962)⁽¹⁾
 ≤ 0.25 for Wood (1967)^(38, 39)

2. ขอบเขตของ screen zone (จะกล่าวต่อไปในผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)

การกำหนดกฎเกณฑ์ของการลดลงของ amplitude ในแนวตั้งเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอต่อประสิทธิภาพของเครื่องกันคลื่น เพราะการลดลงของ amplitude ในแนวตั้ง ถ้าเกิดขึ้นเป็นบางตำแหน่งเครื่องกันคลื่นนี้ก็ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของ amplitude ในแนวตั้งจึงมีความจำเป็นต้องนำมาพิจารณา การลดลงของ amplitude ภายใน screen zone ตามกฎเกณฑ์ที่ได้กำหนดขึ้นเช่น $ARF \leq 0.50$ (Barkan) หรือ $ARF \leq 0.25$ (Wood) ต้องอยู่ในขอบเขตของการทนได้ (tolerance limits)

Richart (1962) แสดงขอบเขตของการทนได้ของคน (persons) สิ่งปลูกสร้าง (structure) เครื่องจักรและฐานรากของเครื่องจักร (machines and machine foundations) ในเทอมของความถี่ (frequency) กับ amplitude ในแนวตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับ ARF เช่น ที่ความถี่ 2000 cpm (33.33 Hz) amplitude ในแนวตั้งลดลงจากขอบเขตของความรุนแรงต่อคน (severe to persons) ถึงขอบเขตของคนสังเกตเห็นได้ง่าย (easily noticeable to persons) ซึ่ง $ARF = 0.25$ (เครื่องหมาย ▲ ในรูปที่ 2.9) ในทำนองเดียวกับ amplitude ในแนวตั้งลดลงจากขอบเขตของความรำคาญต่อคน (troublesome to persons) ถึงขอบเขตของคนสังเกตเห็นได้น้อย (barely noticeable to persons) ที่ความถี่ 1000 cpm (16.67 Hz) (เครื่องหมาย ⊗ ในรูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (displacement amplitude) ที่ความถี่ของการสั่นต่าง ๆ (จาก Richart 1962)⁽²⁷⁾

2.5 ผลงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ผลงานการทดลอง

Barkan (1962)⁽¹⁾ ได้ทดลองและศึกษาปัญหาของการลดความสั่นสะเทือนจาก surface waves โดยใช้ open trenches และ sheetpile ซึ่งได้สรุปผลไว้เป็นแนวทางในการลดความสั่นสะเทือนไว้ดังนี้

(1) กรณีของ open trench ยาว 11 เมตร ลึก 4 เมตร และกว้าง 1 เมตร (ความกว้างมีผลน้อยต่อการลดความสั่นสะเทือน) ลักษณะของดินในสถานที่ทดลองเป็น loessial soil พบว่าที่ความถี่ 810 min^{-1} , ความยาวคลื่น (λ_R) = 15 m (ในดินทั่ว ๆ ไปความเร็วของ surface wave ประมาณ 200 เมตร/วินาที (Barkan) เริ่มมีผลต่อการลดความสั่นสะเทือนเมื่อ $H/\lambda_R \approx 0.3$

(2) กรณีของ line sheetpile ยาว 10 เมตร ลึก 4.1-5.2 เมตร ลักษณะดินในสถานที่ทดลองเป็น water-saturated dense sand
2.1 Amplitude ลดลงอย่างน้อยที่ความถี่ 600 min^{-1}

2.2 Line sheetpile มีประสิทธิภาพเมื่อ $ARF \leq 0.5$ ภายใน depth of screened zone ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังนี้

ความถี่ (min^{-1})	Depth of screened zone (m)
600	0.2-0.3
810	0.5-0.7
1,000	0.5-0.7
1,350	2.5-2.7
1,620	2.7-3.0
1,890	10.0-12.0

(3) กรณีของ close sheetpile ล้อมรอบแหล่งกำเนิดคลื่น sheetpile ยาวด้านละ 3.4 เมตร ลึก 4-5 เมตร ลักษณะของดินในสถานที่ทดลองเป็น water-saturated dense sand

3.1 Amplitude ลดลงอย่างน้อยที่ความถี่ 600 min^{-1}

3.2 เกิด distance of principal minimum ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังนี้

ความถี่ (min^{-1})	Distance of principal minimum(m)
1,220	6.4
1,620	4.4
2,000	3.0
2,280	3.7

3.3 Close sheetpile มีประสิทธิภาพเมื่อ $\text{ARF} \leq 0.5$ ภายใน depth of screened zone ที่ความถี่ต่างดังนี้

$N. \text{min}^{-1}$	<u>Depth of screened zone formed by closed sheetpiling, m</u>
600	1.3
800	10
1,200	Screened zone was found along entire profile, except for a section at distances of 10-12.5 m from foundation.
1,620	Screened zone was found along entire profile, except for a section at distances of 9-10.5 m from foundation.
2,000	Along section at distances of 1.5-2.5 m from foundation, the ratio of amplitudes before and after sheet-pile driving was 0.5; screened zone is distributed over rest of profile.
2,280	Screened zone is distributed over entire profile, except for a section at distances of 0.5-7.0 m from foundation.

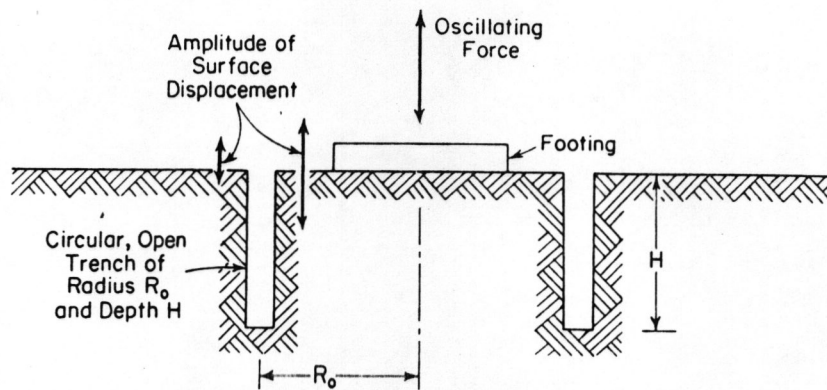
3.4 Depth of screened zone ของ close sheetpile มากกว่า line sheetpile

WOODS (1967)^(38, 39) ได้ทดลองและศึกษาปัญหาของการลดความสั่นสะเทือนจาก surface waves โดยใช้ open trenches โดยได้แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ประเภท คือ

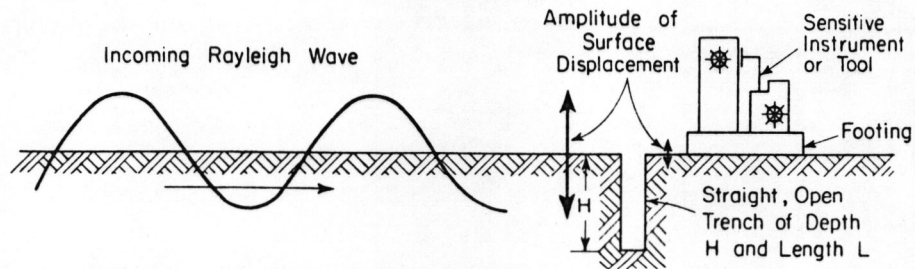
- (1) Active Isolation (isolation at the source)
- (2) Passive Isolation (screening at a distance)

Active isolation เป็นการสร้าง barrier ใกล้เคียงหรือล้อมรอบแหล่งกำเนิดคลื่น เพื่อลดพลังงานคลื่นที่กระจายจากแหล่งกำเนิดคลื่น ดังรูปที่ 2.10 Passive isolation

เป็นการสร้าง barrier ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น แต่ใกล้กับสถานที่ที่ต้องการลดความสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 Schematic of vibration isolation using a circular trench surrounding the source of vibrations—active isolation (from Woods, 1968).



รูปที่ 2.11 Schematic of vibration isolation using a straight trench to create a quiescent zone—passive isolation (from Woods, 1968).

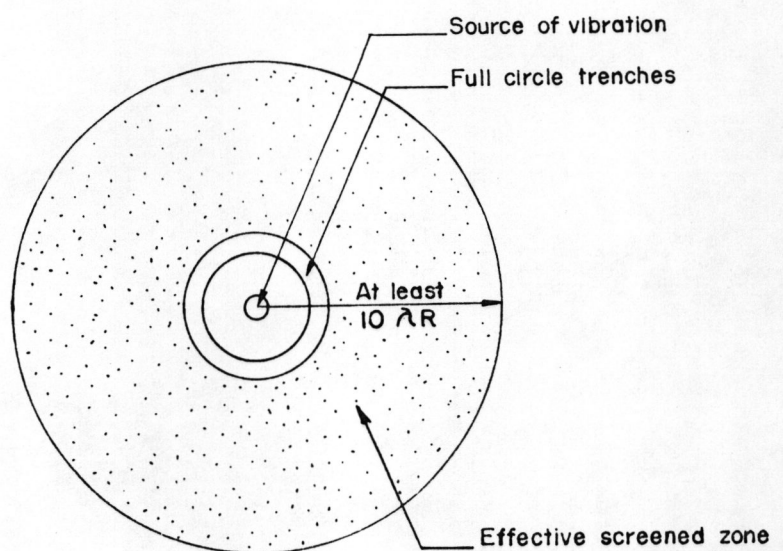
ลักษณะของดินในสถานที่ทดลองเป็น silty, fine sand (SM) จากผลการทดลอง เขาได้สรุปไว้เป็นแนวทางในการลดความสั่นสะเทือนสำหรับดินชนิดนี้ไว้ดังนี้คือ

(1) ผลการทดลอง Active Isolation

- Full circle trenches (การสร้าง trenches ล้อมรอบแหล่งกำเนิดคลื่น) ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น $R/\lambda_R = 0.222-0.910$ และความลึก H/λ_R อยู่ระหว่าง $0.222-1.82$

1) พิจารณาว่า trench มีประสิทธิภาพ เมื่อ $ARF \leq 0.25$

ภายใน screen zone ซึ่งมีขอบเขตจากขอบนอกของ trench ถึง วงกลมซึ่งมีรัศมีอย่างน้อย 10 เท่าของความยาวคลื่น ($10 \lambda_R$) โดยมี จุดศูนย์กลางอยู่ตรงแหล่งกำเนิดคลื่น ดังรูปที่ 2.12 และ $H/\lambda_R \geq 0.6$



รูปที่ 2.12 Effective screened zone for full circle trenches

2) เกิด "Principal minimum" ภายใน screen zone ที่ระยะ

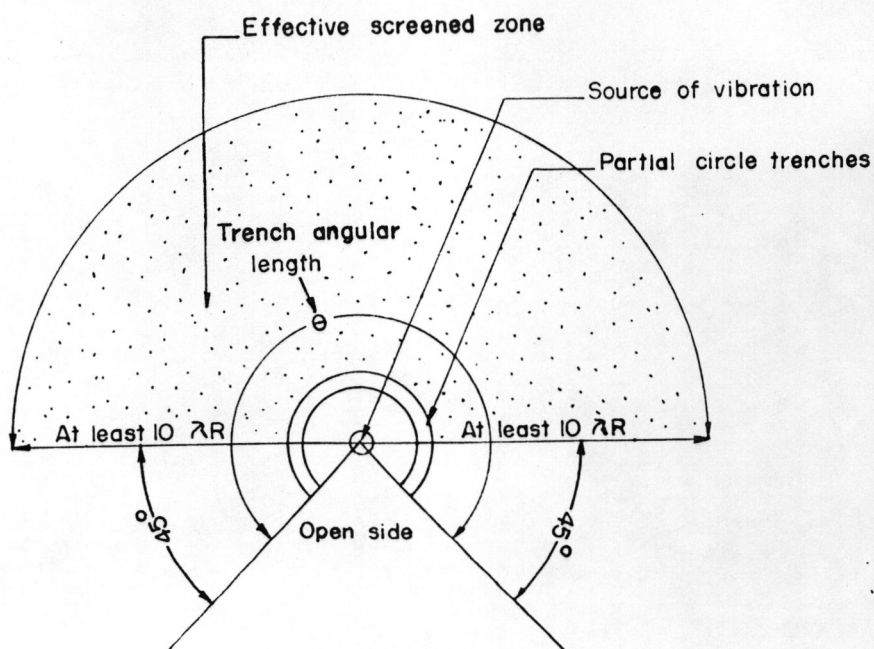
$2.2 \lambda_R - 6.4 \lambda_R$ จากแหล่งกำเนิดคลื่น

3) ระยะจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยัง "Principal minimum" ลดลงเมื่อ
เมื่อความลึกของ trench เพิ่มขึ้น

- Partial circle trenches (การสร้าง trenches รอบแหล่งกำเนิดคลื่นบางส่วน) ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น $R/\lambda_R = 0.222-0.910$ และความลึก H/λ_R อยู่ระหว่าง $0.222-1.82$

1) พิจารณาว่า trench มีประสิทธิภาพ เมื่อ $ARF \leq 0.25$

ภายใน screen zone ซึ่งมีขอบเขตจากขอบนอกของ trench ถึงวงกลมซึ่งมีรัศมีอย่างน้อย 10 เท่าของความยาวคลื่น ($10\lambda_R$) โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ตรงแหล่งกำเนิดคลื่นและล้อมรอบด้วยเส้นรัศมีสองเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งทำมุมกับขอบของ partial circle trenches $= 45^\circ$ ดังรูปที่ 2.13 และ $H/\lambda_R \geq 0.6$



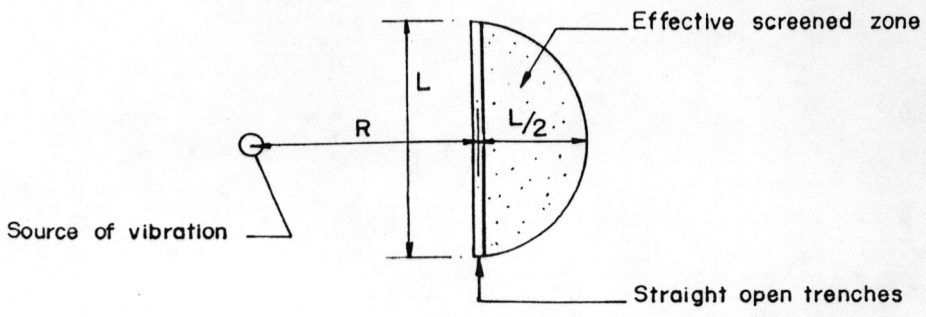
รูปที่ 2.13 Effective screened zone for partial circle trenches

- 2) Partial circle trenches ที่มี angular length (θ) น้อยกว่า 90° ไม่เกิด effective screened zone
- 3) การขยาย (Amplification or "focusing") ของ amplitude เกิดขึ้นทางด้านเปิด (open side) ของ partial circle trenches

(2) ผลการทดลอง Passive Isolation

- Straight open trenches ($R/\lambda_R = 2.22-9.10$ และ $H/\lambda_R = 0.444-3.64$)

- 1) พิจารณาว่า trench มีประสิทธิภาพเมื่อ $ARF \leq 0.25$ ภายใน screen zone ซึ่งเป็นพื้นที่ครึ่งวงกลมรัศมีเท่ากับ $L/2$ โดยมีจุดศูนย์กลางตรงกลางของ straight open trenches ดังรูปที่ 2.14 และ minimum depth $H/\lambda_R = 1.33$ for $2/\lambda_R \leq R \leq 7\lambda_R$ or scale area $\frac{HL}{\lambda_R^2} \geq 2.5$ at $R = 2\lambda_R$
 scale area $\frac{HL}{\lambda_R^2} \geq 6.0$ at $R = 7\lambda_R$

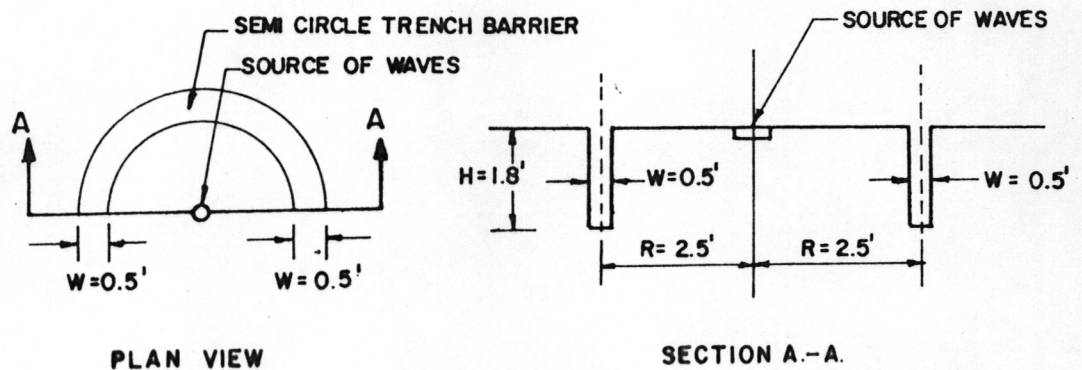


รูปที่ 2.14 Effective screened zone for straight open trenches

- 2) โดยทั่วไป trench ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้ effective screened zone มากกว่า
- 3) การขยาย (Amplification of "focusing" ของ amplitude เกิดขึ้นทางด้านหน้าและด้านข้างของ trench
- 4) ความกว้างของ trench มีอิทธิพลน้อยต่อประสิทธิภาพของ trenches เมื่อความกว้าง W/λ_R อยู่ระหว่าง 0.13-0.91
- 5) Sheet-wall barriers ให้ประสิทธิภาพน้อยกว่า open trenches

Peng (1972) ⁽²⁵⁾ ได้ทดลองและศึกษาปัญหาการลดความสั่นสะเทือนจากคลื่น

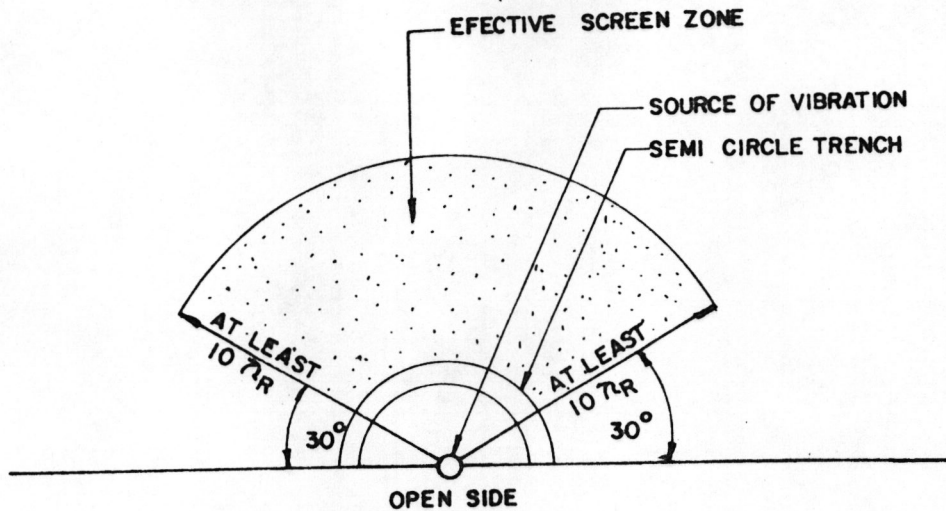
Rayleigh โดยใช้ร่องเปล่า ร่องใส่ น้ำ bentonite slurry และซีเมนต์ (ในสภาพแน่น) เป็นรูปครึ่งวงกลมรอบแหล่งกำเนิดคลื่น (isolation at source) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ISOLATION AT THE SOURCE

ลักษณะของดินในสถานที่ทดลองเป็นดินเหนียว จากผลการทดลองเขาได้สรุปไว้ดังนี้

- 1) screen zone เป็นพื้นที่ซึ่งมีขอบเขตจากขอบนอกของร่องกั้นคลื่นถึงวงกลมซึ่งมีรัศมีอย่างน้อย 10 เท่าของความยาวคลื่น โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ตรงกลางของแหล่งกำเนิดคลื่นและล้อมรอบด้วยเส้นรัศมีสองเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดคลื่นทำมุมกับขอบของ semi circle trench 30° ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 EFFECTIVE SCREENED ZONE FOR SEMI CIRCLE TRENCHES

2) กรณีของร่องเปล่าเมื่อ $R/\lambda_R \leq 1.4$ และ $H/\lambda_R \geq 0.6$ ภายในพื้นที่มากกว่า 75% ของ screen zone มีค่า $ARF \leq 0.25$

3) เมื่อกำหนดใช้ $ARF \leq 0.5$ ภายใน screen zone พบว่าร่องเปล่าเริ่มมีประสิทธิภาพต่อการกั้นคลื่นเมื่อ $H/\lambda_R = 0.6$ เมื่อ $H/\lambda_R = 0.8$ ร่องที่ใส่น้ำเริ่มมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับร่องเปล่า ส่วนร่องใส่ betonite slurry เริ่มมีประสิทธิภาพแต่น้อยกว่าร่องเปล่า เล็กน้อย ส่วนร่องใส่ขี้เสื่อย (สภาพแน่น) ไม่มีประสิทธิภาพต่อการกั้นคลื่น

4) เมื่อกำหนดใช้ $ARF \leq 0.5$ ภายในพื้นที่มากกว่า 75% ของ screen zone พบว่าร่องเปล่า ร่องใส่น้ำ และ bentonite slurry มีประสิทธิภาพต่อการกั้นคลื่นเมื่อ $H/\lambda_R > 0.5$ เมื่อ $H/\lambda_R < 0.34$ จะไม่มีผลต่อการกั้นคลื่น สำหรับร่องใส่ขี้เสื่อย (สภาพแน่น) นั้นภายในพื้นที่มากกว่า 75% ของ screen zone มีค่า $ARF \leq 0.5$ เมื่อ $H/\lambda_R \approx 1.0$ และ มีค่า $ARF \leq 0.6$ เมื่อ $H/\lambda_R = 0.8$ เมื่อ $H/\lambda_R < 0.5$ จะไม่มีผลต่อการกั้นคลื่นเลย

5) เกิด "principal minimum" ของ ARF ที่ระยะ $1.5\lambda_R - 2.5\lambda_R$ จากแหล่งกำเนิดคลื่น และไม่ขึ้นกับวัสดุที่ใส่ในร่องเปล่า

6) การขยาย (amplification or "focusing") ของอัมพลิจูดเกิดขึ้นทาง

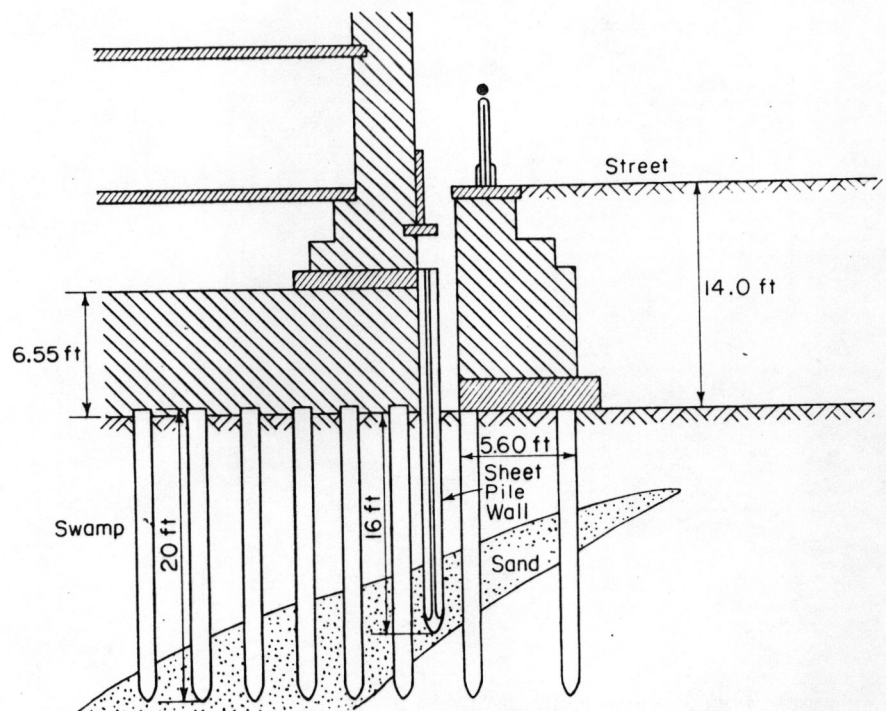
ด้านเปิด (open side) และตรงปลายของ semi circle trenches

7) ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงหรือการเสื่อม (coefficient of attenuation) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 ฟุต^{-1} ถึง 0.14 ฟุต^{-1} เมื่อความถี่อยู่ในช่วง 46 CPS ถึง 130 CPS

8) ร่องเปล่ามีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดความสั่นสะเทือนร่องใส่ น้ำ และ bentonite slurry มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดความสั่นสะเทือนร่อง การใช้วิธีเสียบเสาจะไม่มีผลต่อการกันคลื่นเลย

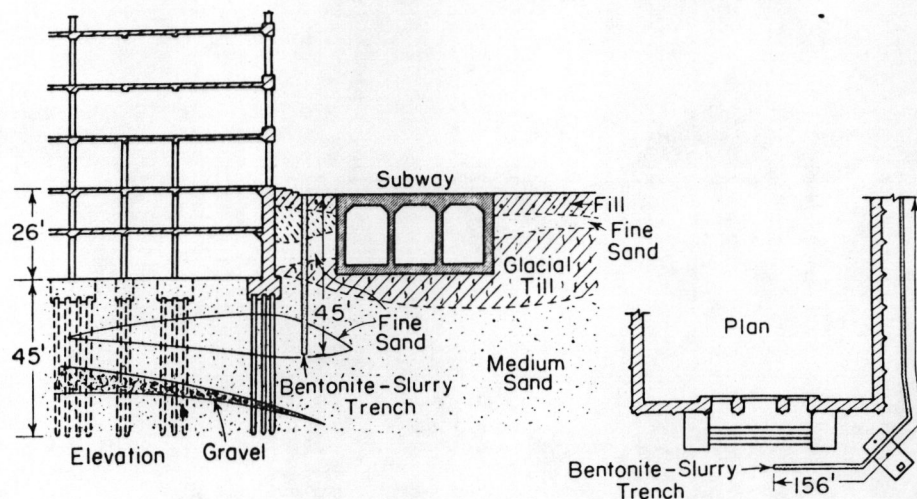
2.5.2 ผลงานการปฏิบัติจริงในสนาม

Barkan (1962)⁽¹⁾ ใช้ retaining wall, open trench and sheet-pile-wall barrier ลดความสั่นสะเทือนของอาคารจากการจราจร (traffic) ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งไม่ประสบผลสำเร็จเพราะความสั่นสะเทือนส่งผ่านไปยังอาคารได้



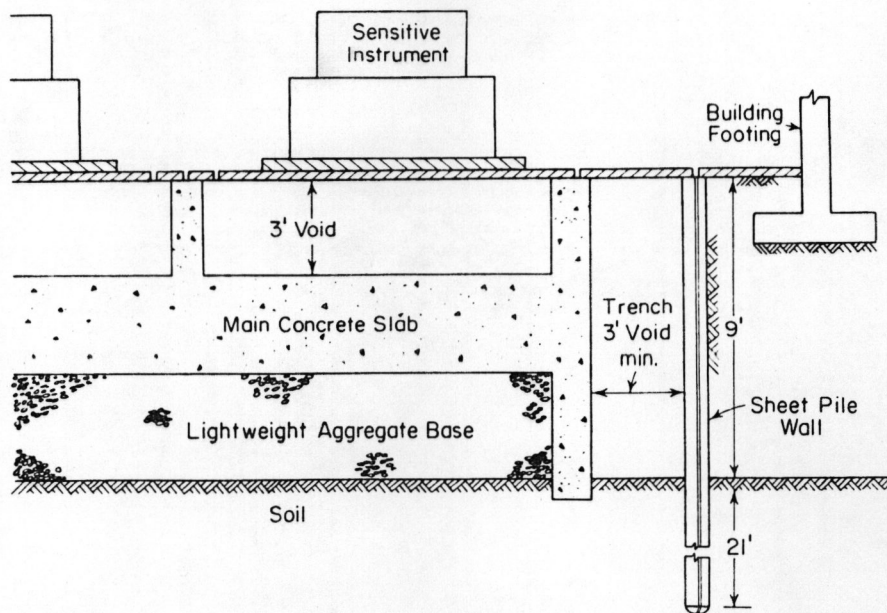
รูปที่ 2.15 Isolation of building from traffic induced vibrations (after Barkan, 1962).

Dolling (1965)⁽⁶⁾ และ Neumeuer (1963)⁽²⁴⁾ ใช้ bentonite - slurry - filled trench ลดความสั่นสะเทือนของโรงพิมพ์ (printing plant) ในเบอร์ลิน จาก subway trains ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่ง Amplitude ลดลงครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 2.16 Building isolation using bentonite-slurry filled trench (after Neumeuer, 1963).

Mc Neill, Margason, and Babcock (1965)⁽¹⁹⁾ ได้ประสบผลสำเร็จเกี่ยวกับการใช้ trench และ sheet-wall barrier ลดความสั่นสะเทือนของ sensitive dimension standard laboratory ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Isolation of standards laboratory (after McNeill et al., 1965).