

防災工学

第9回

千葉大学 工学部 都市環境システムコース

丸山 喜久

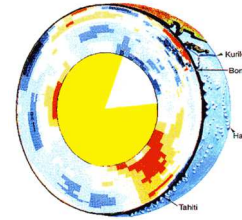
<http://ares.tu.chiba-u.jp/marulab/index.html>

ymaryam@tu.chiba-u.ac.jp

1

地球の内部構造

「地震の揺れを科学する」(山中浩明編著)



http://www.ism.ac.jp/statistical_world/jp/info2/info2-2.html

S波速度

G : せん断弾性係数
 ρ : 密度

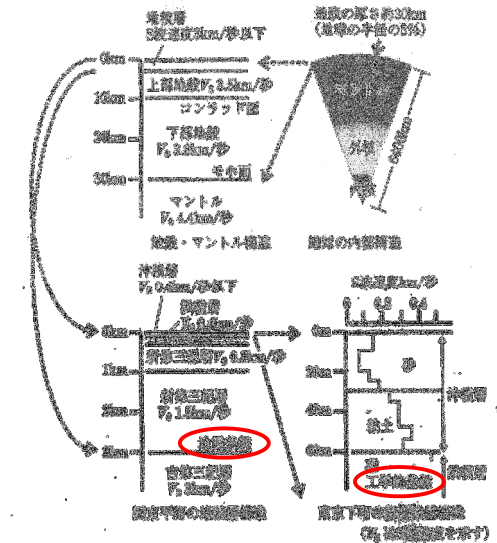


図3-1 スケールの違いでみた地球内部構造

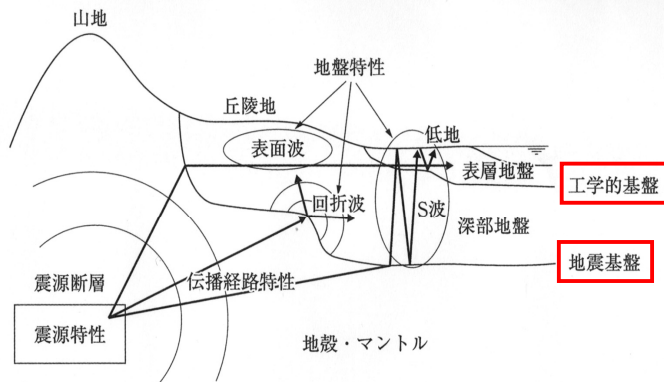
2

地震基盤と工学的基盤

地震基盤: 東京中心部では深さ2.5km程度

工学的基盤: 一般的な建造物の支持層

工学的基盤より上にある地層を という

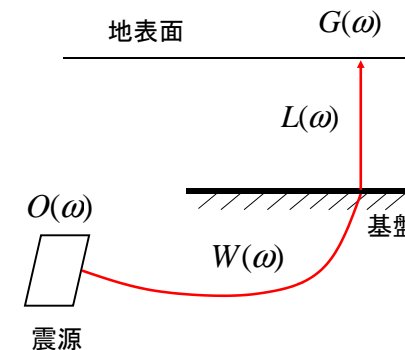


「地震の揺れを科学する」(山中浩明編著)

図3-2 地震基盤, 工学的基盤, 深部地盤, 表層地盤の概念

3

地表で観測される地震動スペクトル



$G(\omega)$ 地震動スペクトル

$O(\omega)$ 震源スペクトル

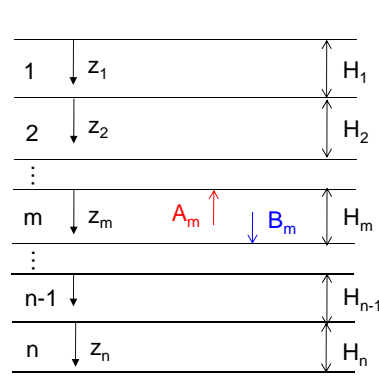
$W(\omega)$ 震源から基盤までの伝達関数

$L(\omega)$ 表層地盤の伝達関数

$G(\omega) \longrightarrow g(t)$ 地震動フーリエ逆変換

4

重複反射理論



地盤中をS波が伝播するときの波動方程式
(非減衰と仮定)

z:波の伝播方向

u: zに直角な水平変位成分

第m層での変位

$$u_m = A_m \exp[i\omega(t + z_m/V_{s_m})] + B_m \exp[i\omega(t - z_m/V_{s_m})]$$

$$k_m = \omega/V_{s_m} \quad \text{とおくと}$$

$$u_m = A_m \exp[i(k_m z_m + \omega t)] + B_m \exp[-i(k_m z_m - \omega t)]$$

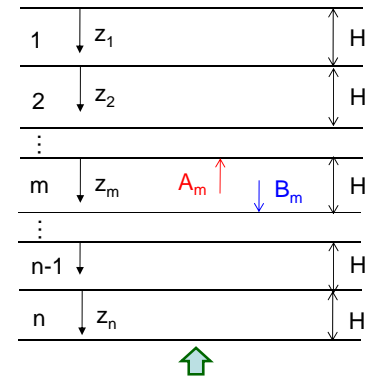
S波(円振動数 ω)

$$\tau_m = G_m \frac{\partial u_m}{\partial z_m}$$

なので

$$\tau_m = iG_m k_m [A_m \exp[i(k_m z_m + \omega t)] - B_m \exp[-i(k_m z_m - \omega t)]]$$

重複反射理論



したがって,

$e^{i\omega t}$ を省略

$$\begin{Bmatrix} u_m(z_m) \\ \tau_m(z_m) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \exp(ik_m z_m) & \exp(-ik_m z_m) \\ iG_m k_m \exp(ik_m z_m) & -iG_m k_m \exp(-ik_m z_m) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_m \\ B_m \end{Bmatrix}$$

第m層の上面($z_m=0$)においては

$$\begin{Bmatrix} u_m(0) \\ \tau_m(0) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ iG_m k_m & -iG_m k_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_m \\ B_m \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} u_m(0) \\ \tau_m(0) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_{m-1}(H_{m-1}) \\ \tau_{m-1}(H_{m-1}) \end{Bmatrix}$$

S波(円振動数 ω)

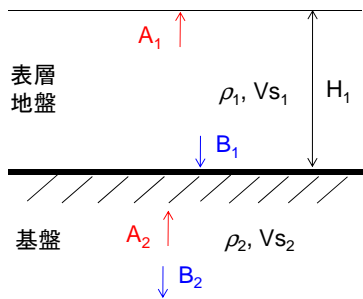
$$\begin{Bmatrix} A_m \\ B_m \end{Bmatrix} = [T_{m-1}] \begin{Bmatrix} A_{m-1} \\ B_{m-1} \end{Bmatrix}$$

したがって,

$$[T_{m-1}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(1 + \alpha_{m-1}) \exp(ik_{m-1} H_{m-1}) & \frac{1}{2}(1 - \alpha_{m-1}) \exp(-ik_{m-1} H_{m-1}) \\ \frac{1}{2}(1 - \alpha_{m-1}) \exp(ik_{m-1} H_{m-1}) & \frac{1}{2}(1 + \alpha_{m-1}) \exp(-ik_{m-1} H_{m-1}) \end{bmatrix} \quad \alpha_{m-1} = \frac{G_{m-1} k_{m-1}}{G_m k_m} = \frac{\rho_{m-1} V_{s_{m-1}}}{\rho_m V_{s_m}}$$

重複反射理論

地表面 $z_1=0$ では $\begin{Bmatrix} A_m \\ B_m \end{Bmatrix} = [T_{m-1}][T_{m-2}] \cdots [T_1] \begin{Bmatrix} A_1 \\ B_1 \end{Bmatrix}$



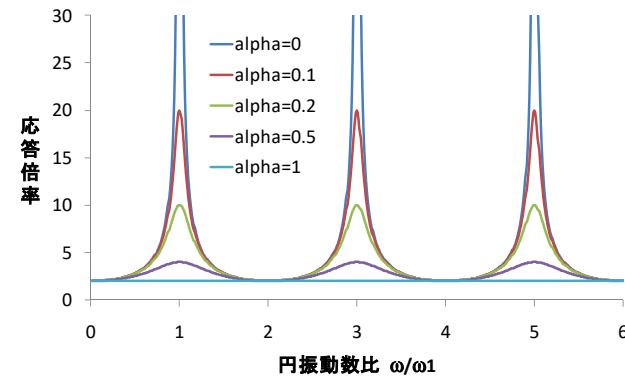
m=2とすると

$$A_1 = B_1 = \frac{1}{\cos(k_1 H_1) + i\alpha_1 \sin(k_1 H_1)} A_2$$

$$B_2 = \frac{\cos(k_1 H_1) - i\alpha_1 \sin(k_1 H_1)}{\cos(k_1 H_1) + i\alpha_1 \sin(k_1 H_1)} A_2$$

基盤面の入射波の変位振幅に対する地表面の変位振幅の比

重複反射理論



$\cos \frac{\omega H_1}{V_{s1}} = 0$ のとき, 応答倍率がピークを示す.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{より,}$$

地盤種別

I種地盤:

II種地盤:

III種地盤:

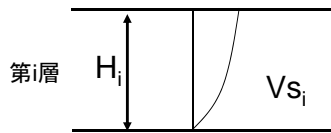
かたい



やわらかい

地盤の特性値(s)

固有周期とほぼ等価



地震波の増幅現象

「地震の揺れを科学する」(山中浩明編著)

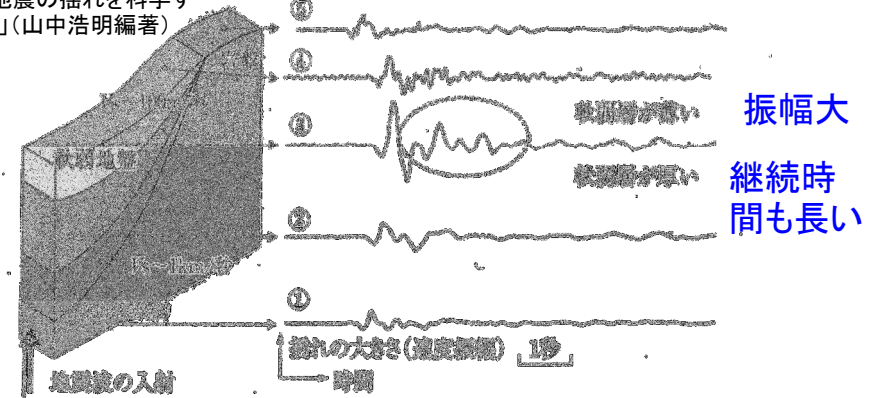
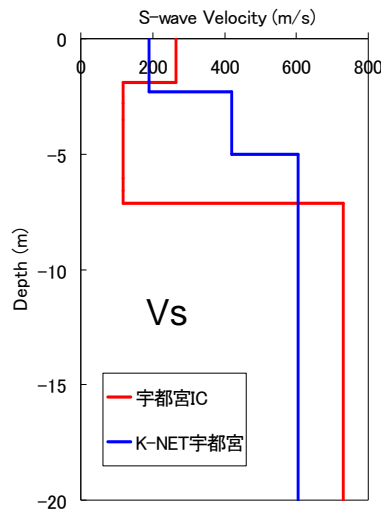


図3-4 小規模での地震動増幅の例 [工学, 2002]

近傍の地震観測記録の比較

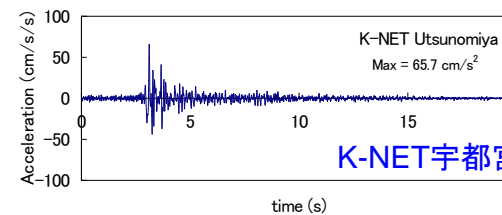
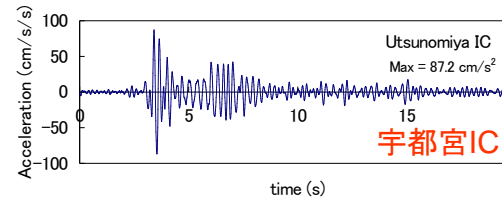


S波速度の比較

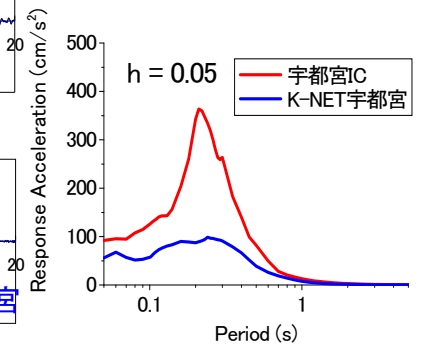


近傍の地震観測記録の比較

1998年6月24日(茨城県南部)EW成分

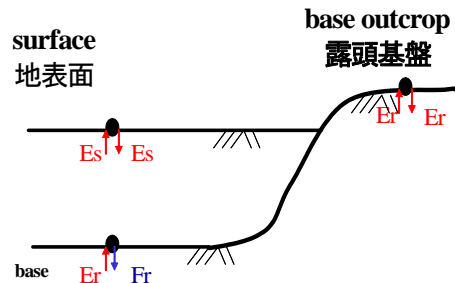


加速度応答スペクトル

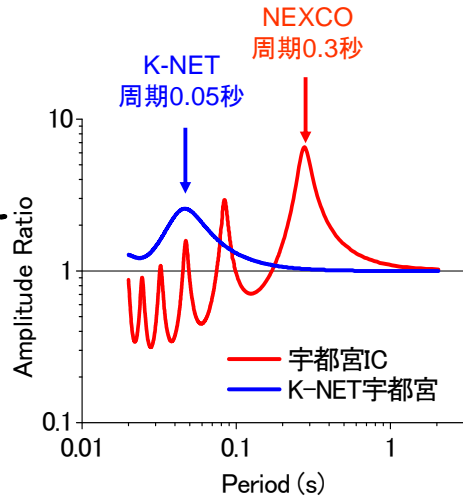


1次元伝達関数の比較

露頭基盤に対する増幅率



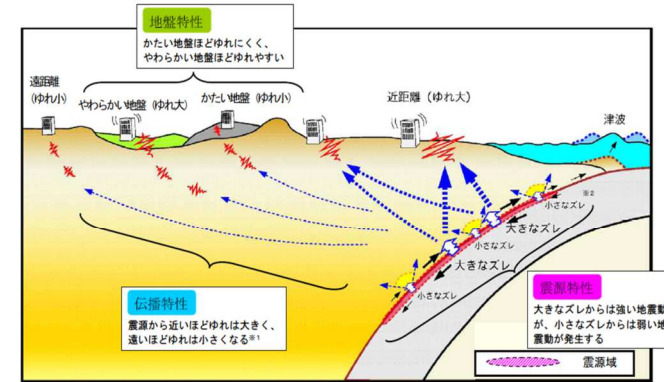
宇都宮ICでは表層地盤の影響で周期0.3秒程度の成分が増幅される



表層地盤のゆれやすさ全国マップ

<http://www.bousai.go.jp/>

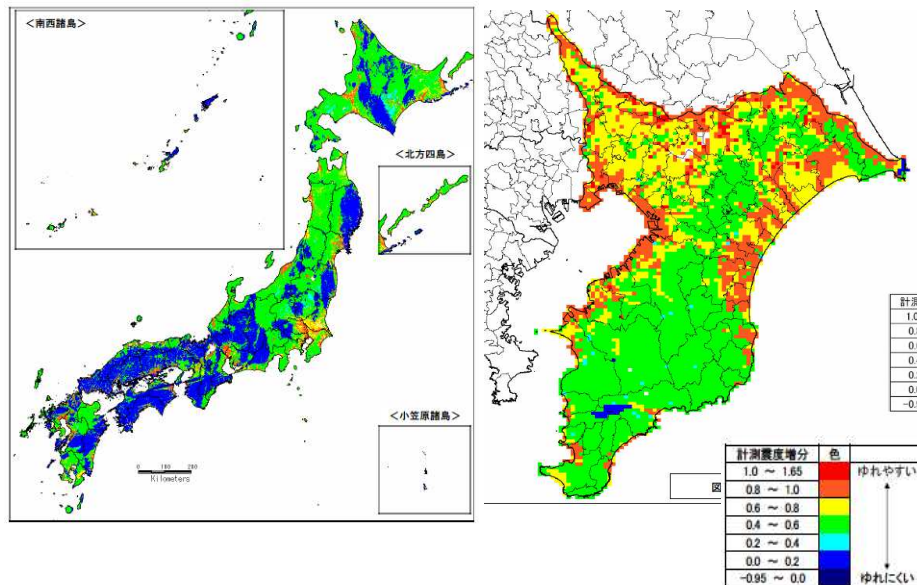
全国を1km²メッシュに区切り, どの地域が相対的に揺れやすいかを示したもの



※1 盆地で地震波が集中する場所などでは、震源から遠くても大きいゆれとなる場合がある。
 ※2 地震は断層（震源域）の急激なずれによって生じる。一つの地震でも、震源域では、大きなずれを生じる場所や小さなずれしか生じない場所がある。

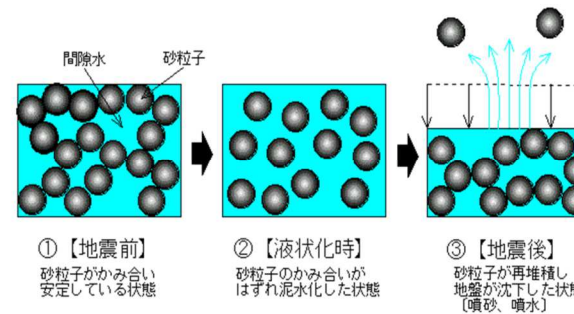
図1 地震のゆれ（強震動）の伝わり方

表層地盤のゆれやすさ全国マップ



地盤の液状化

液状化:



<http://www.pref.tottori.jp/kigyou/taisakuinkai/panf/panf.htm>

2003年十勝沖地震

後背湿地, 三角州, 埋め立て地

マンホールの浮き上がり

2011年東北地方太平洋沖地震

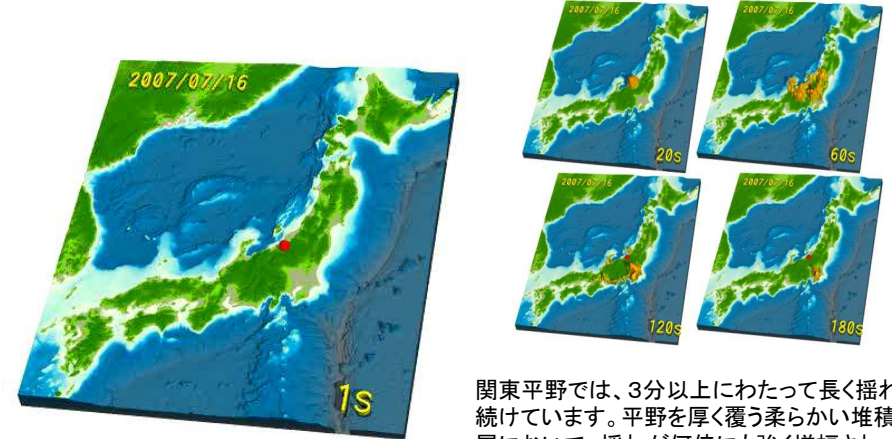
千葉県浦安市



新潟県中越沖地震 一強震動と長周期地震動一

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/furumura/07Chuetsu/index.l>

新潟県中越沖の地震の揺れの伝わる様子



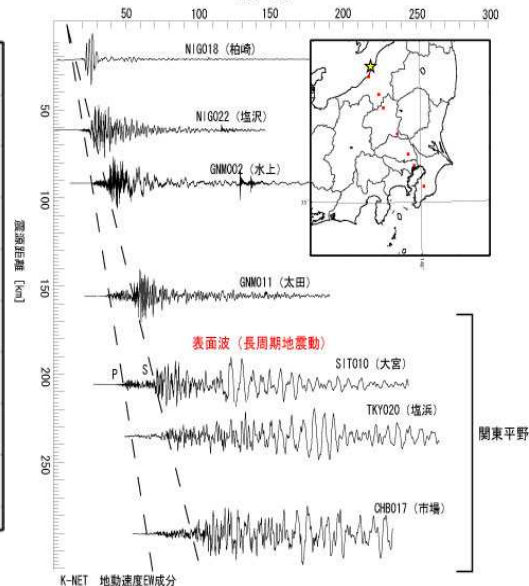
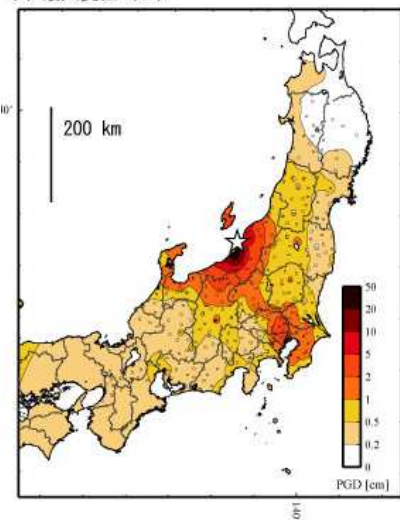
関東平野では、3分以上にわたって長く揺れ続けています。平野を厚く覆う柔らかい堆積層において、揺れが何倍にも強く増幅され、そして表面波とよばれる周期の長い地震動が生成したためです。

新潟県中越沖地震 一強震動と長周期地震動一

PGD分布

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/furumura/07Chuetsu/index.htm>

(a) 最大変位 (cm)



長周期地震動

<http://www.security-joho.com/topics/2005/tyousuyuukijisindou.htm>

●六本木ヒルズ、新潟中越地震(東京、震度3)でエレベーター損傷。

新潟県中越地震で、震源から約200キロ離れた東京都港区の六本木ヒルズ森タワー(54階建て、高さ238メートル)のエレベーター6基が損傷、うち1基は8本ある主ロープの1本(直径約1センチ)が切れていたことがわかった。

●長周期地震動により考えられる被害

1. 石油コンビナートのタンクの揺れにより、タンク内の液体が漏洩
2. 超高層建物は一度揺れ始めると揺れが止まりにくくなる。その結果、エレベーターが停止し、機能を果たせなくなる。
 - ・建物内にいる人、特に上層階の人は大変大きな横揺れが暫く続くことから、大変な恐怖心を受ける。
3. 免震建物では、積層ゴムの大変形により基礎周辺に被害が発生する。
4. 長大橋梁では、部材の変形やずれなどの被害が発生する。