

三次元有限要素法による 空港舗装構造の数値解析

空港研究部空港施設研究室

董 勤喜

八谷 好高

目的

- 効率的な静的逆解析の解法を誘導
- 多層弾性構造の効率的有限要素法解析と逆解析
- 移動荷重に対する空港舗装の応答解析

静的逆解析の方法

Gauss-Newton 法

$$A^k dE^k = g^k$$

$$A^k = [S(E^k)]^T [S(E^k)]$$

$$g^k = [S(E^k)]^T [u^* - u(E^k)]$$

$$[S(E^k)] = \begin{bmatrix} \partial u_1 / \partial E_1 & \partial u_1 / \partial E_2 & \cdots & \partial u_1 / \partial E_m \\ \partial u_2 / \partial E_1 & \partial u_2 / \partial E_2 & \cdots & \partial u_2 / \partial E_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \partial u_i / \partial E_1 & \partial u_i / \partial E_2 & \cdots & \partial u_i / \partial E_m \end{bmatrix}$$

解析方法の比較

方法	基層	路盤	路床	次数	CPU (s)
差分法	18806.2	2282.2	239.8	4	7258
直接微分法	18805.2	2281.0	239.9	4	2226
反復法	18806.2	2281.0	239.9	4	2177
基底縮小法	18806.2	2281.2	239.9	4	1607

動的有限要素解析と逆解析の方法

構造物の運動方程式

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) = \mathbf{F}(s, t)$$

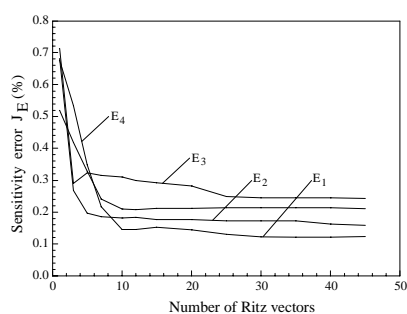
RITZベクトルで運動方程式の縮小化

$$\tilde{\mathbf{u}}(t) = \sum_{i=1}^L \mathbf{r}_i z_i(t) = \mathbf{R} \mathbf{z}(t)$$

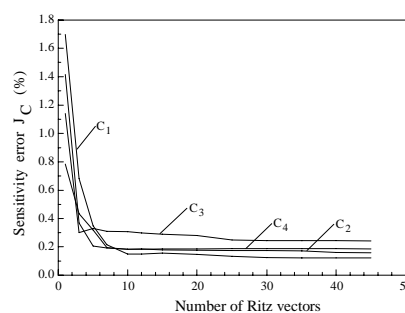
$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{z}}(t) + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{z}}(t) + \mathbf{K}^* \mathbf{z}(t) = \mathbf{f}^* g(t)$$

固有値解析方法を適用

感度解析誤差とRITZベクトル数

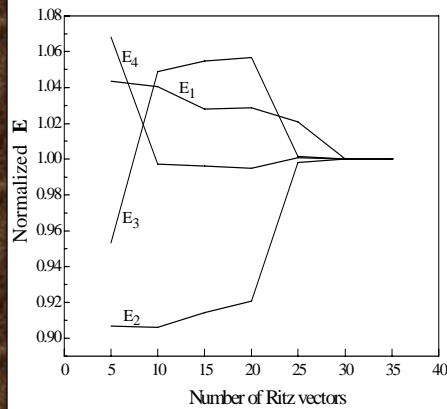


(a) Elastic modulus

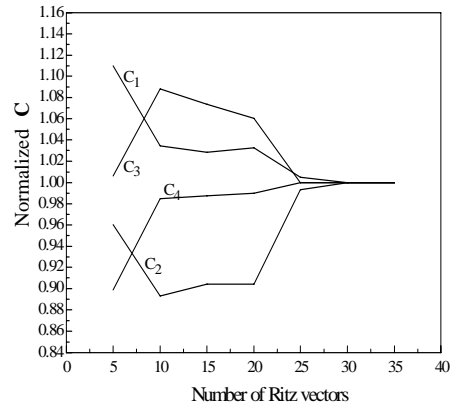


(b) Damping

逆解析結果とRITZベクトル数



(a) Elastic modulus



(b) Damping

まとめ(動的解析と逆解析)

- RITZベクトル数が10個となる運動方程式に縮小しても、解析精度は変わらない
- 順解析の場合、RITZベクトルを25個程度用いると、十分な計算精度が得られる
- 逆解析の場合、RITZベクトルを30個程度用いると、真値に収束する

移動荷重解析の運動方程式

線形弾性モデル

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{f(t)\}$$

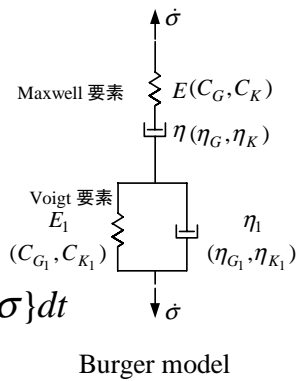
Newmark- β 法による解法

線形粘弾性モデル

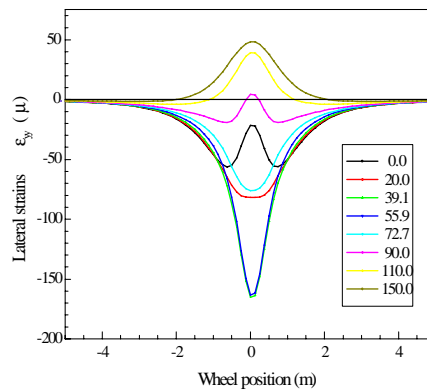
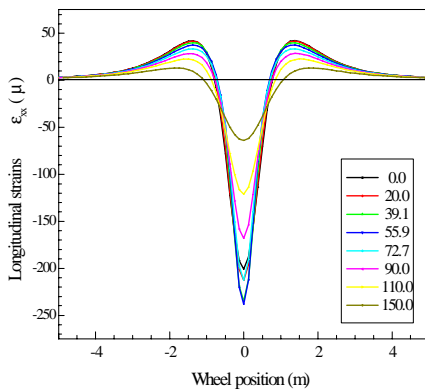
応力増分

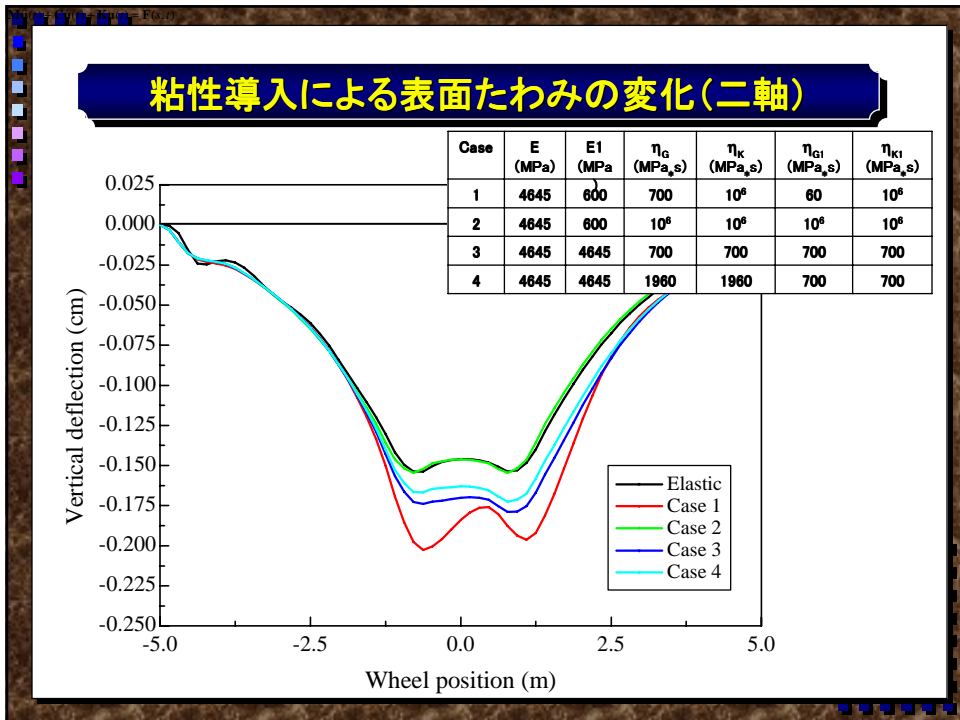
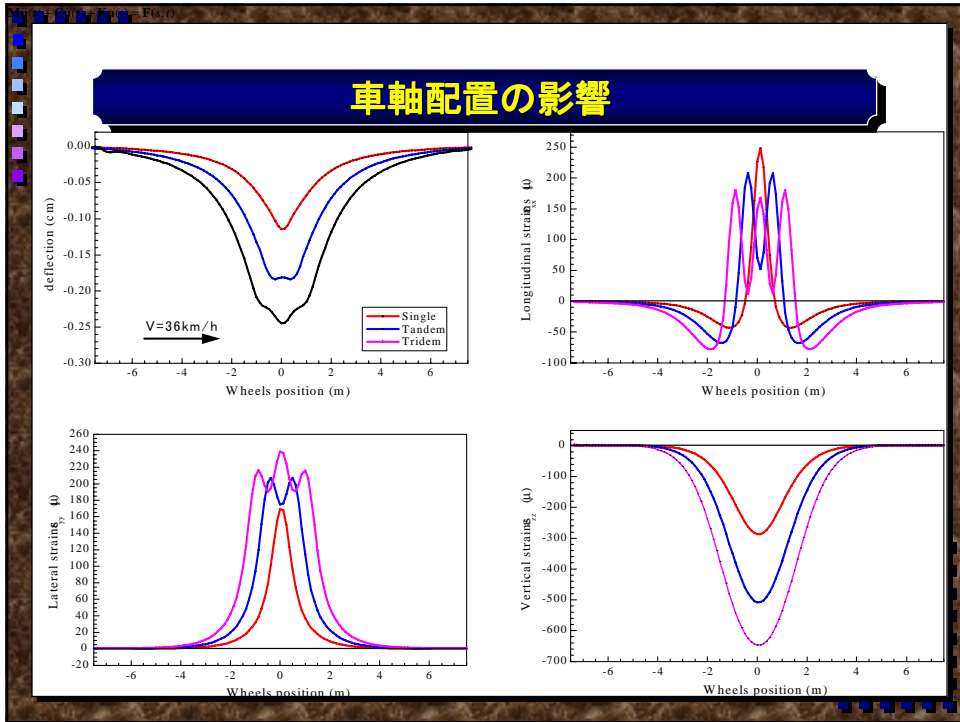
$$\{\Delta\sigma\} = \{\dot{\sigma}\}dt = \{\dot{\sigma}'\}dt + \{\dot{\sigma}_m\}dt$$

$$= [D^e]\{\Delta\varepsilon\} + [D^v]\{\varepsilon\}dt - [P]\{\sigma\}dt$$



舗装表面のひずみ分布(単軸)





まとめ(移動荷重)

- 移動荷重により, AC層下面ひずみには引張と圧縮の状態が発生するが, 路床上面は常に圧縮状態にある.
- 移動荷重の速度は, 表面たわみと路床ひずみに影響しないが, AC層下面ひずみに影響する.
- AC層の厚さは動的応答に大きく影響する.
- 軸数は動的応答に大きく影響する.
- 粘弾性モデルとした場合, 粘性係数がたわみに影響を及ぼす. また, 走行速度が大きいとたわみは小さくなる.