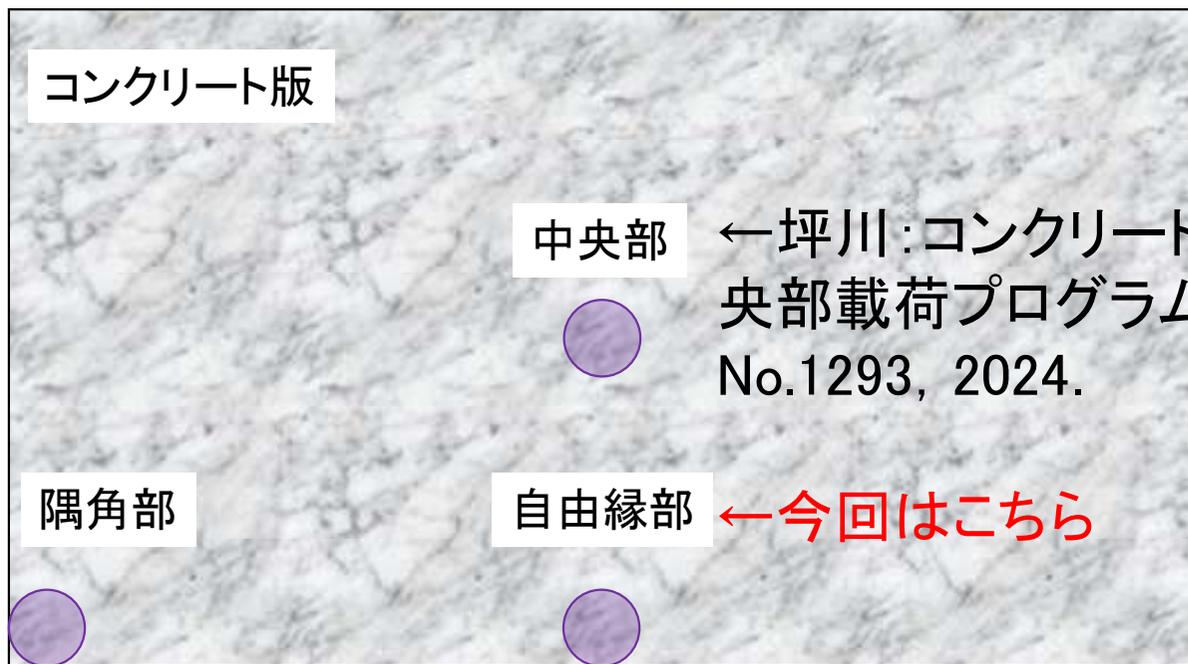


コンクリート舗装の Westergaard自由縁部載荷プログラム の再構築

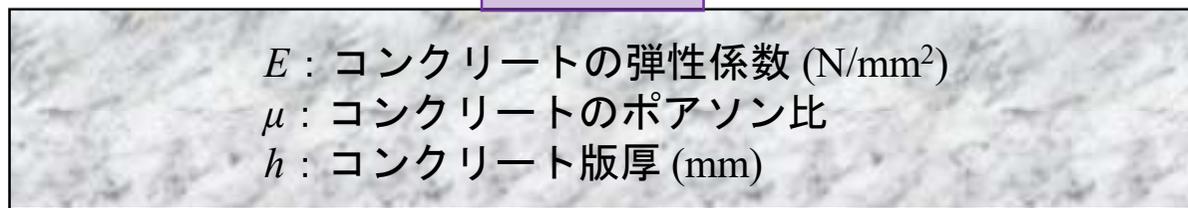
空港研究部 空港新技術研究官
坪川 将丈



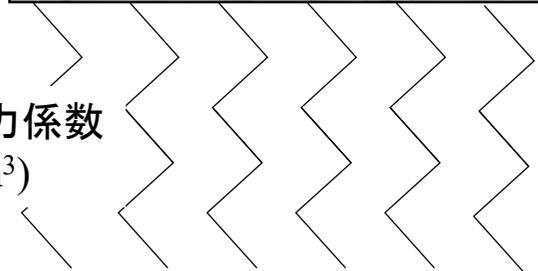
←坪川:コンクリート舗装のWestergaard中央部
中央部載荷プログラムの改良, 国総研資料,
No.1293, 2024.

←今回はこちら

載荷重

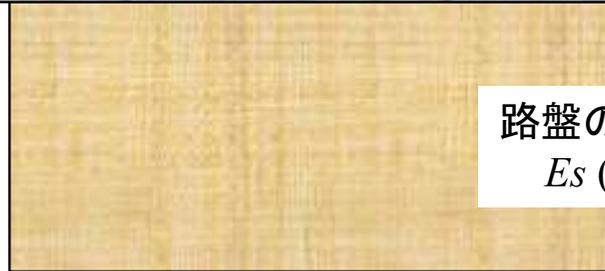


路盤の支持力係数
 K (N/mm^3)



Winkler基礎モデル

路盤の弾性係数
 E_s (N/mm^2)



弾性基礎モデル

↑
こちらのモデル

概要

【概要】

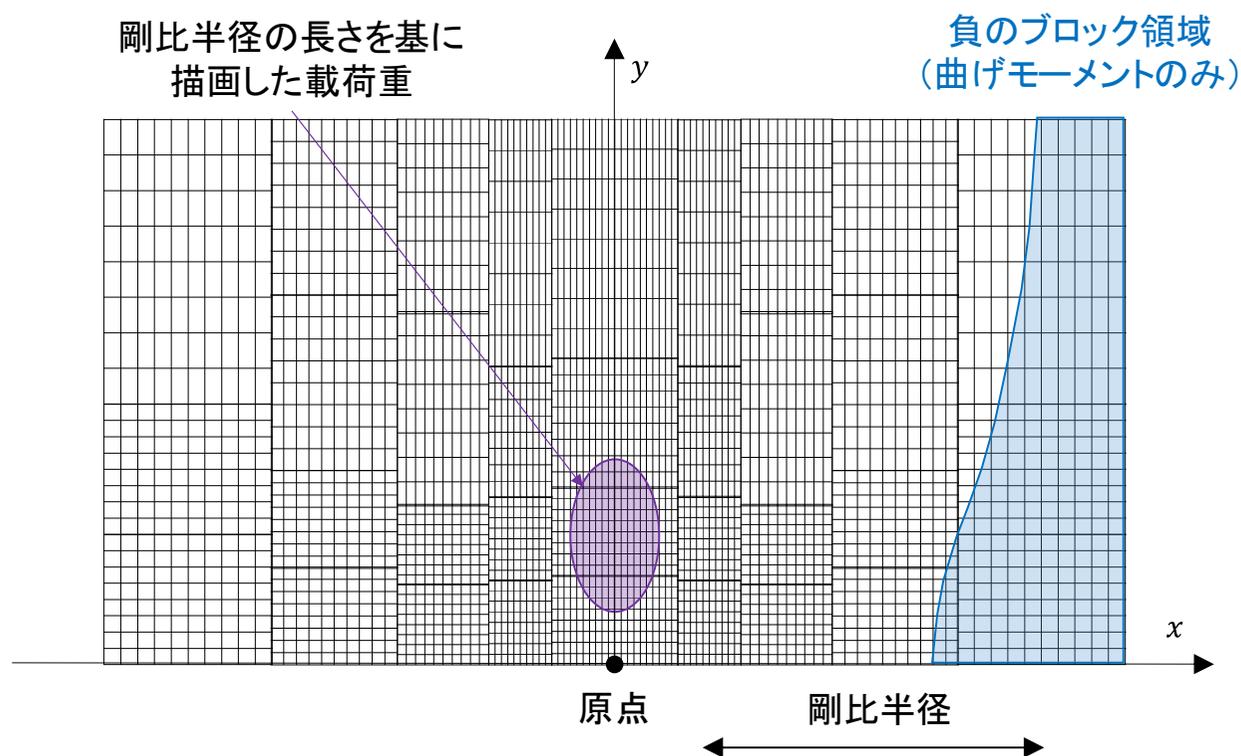
1977年に運輸省港湾技術研究所 滑走路研究室の福手勤(現:東洋大学名誉教授)が作成した, Winkler基礎モデルによるWestergaard自由縁部載荷プログラムを再構築した.

【背景】

- Fortranで作成されたプログラムであったが本体・ソースコードが現存しないため, VBAで再構築する.
- 楕円形荷重しか考慮できないため, 円形荷重・矩形荷重も対象とする.
- 旧プログラムの基礎原理は港研資料に記載されているが, プログラムの細部が不明のため, 国総研資料で整理する.
- 設計では中央部載荷応力を用いており, 自由縁部応力の傾向が深堀されていないため, 国総研資料で整理する.

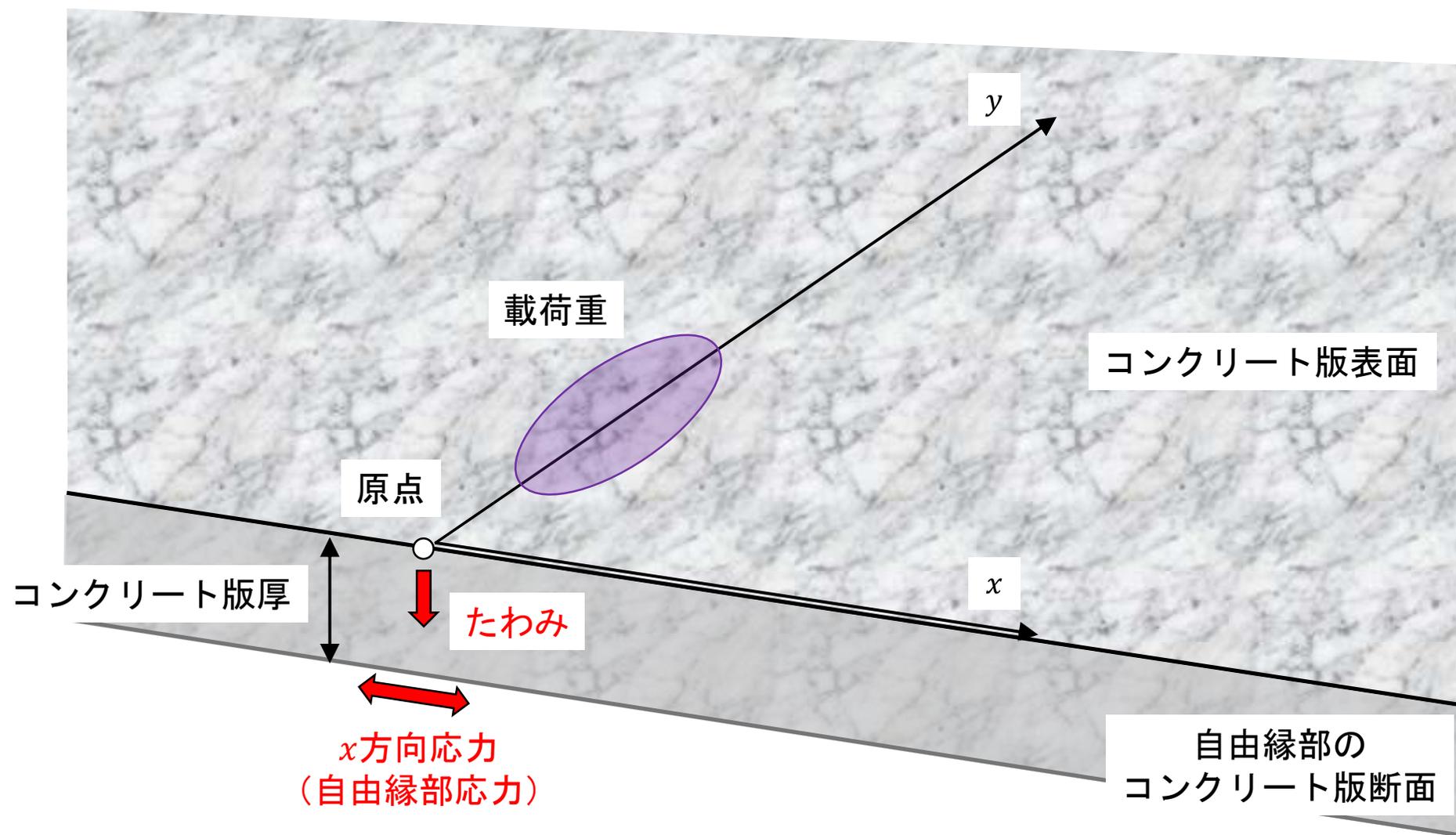
2章 - 基礎原理

- コンクリート舗装の設計では「コンクリート版下面に発生する最大主応力」を用いるのが一般的である。
- Westergaard(1926)による載荷公式が最も著名。この成果をPickett & Ray (1951)が発展させ、複数の載荷重による応答を算出可能な影響図を作成した。
- 我が国では、福手(1977)がPickett & Rayの研究成果を基に中央部載荷及び自由縁部載荷の影響図の理論をプログラム化した。
- 中央部載荷プログラムは2024年に再構築済。



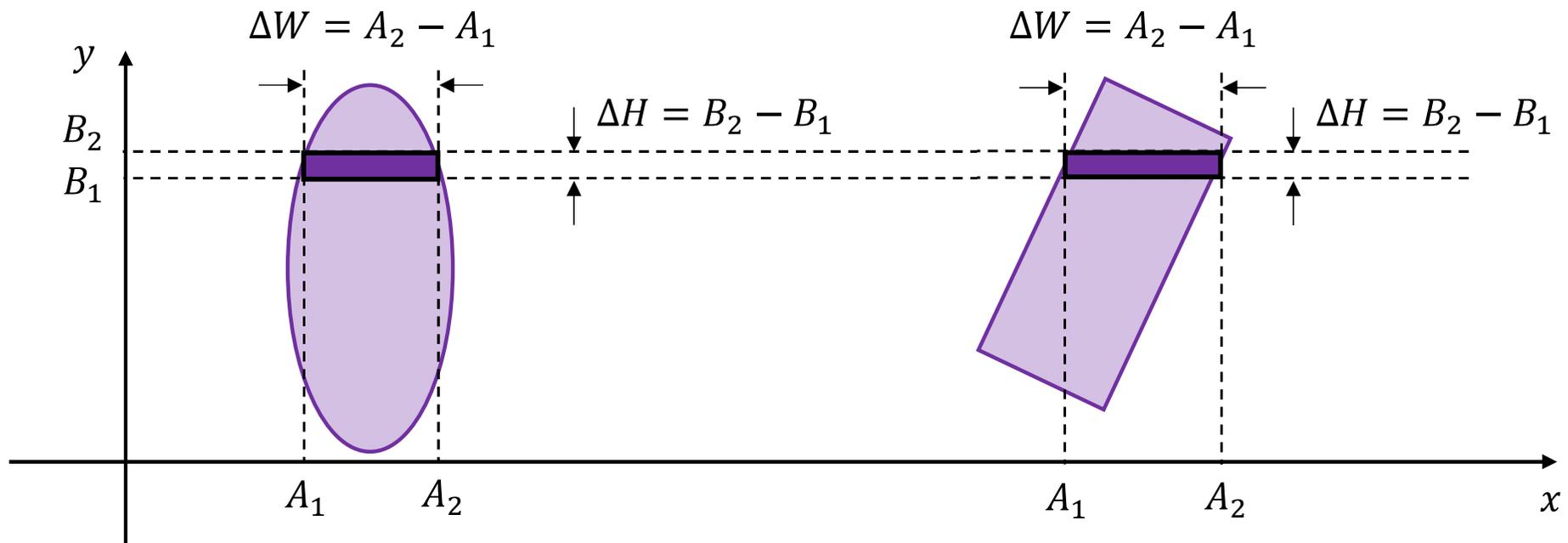
Pickett & Rayによる自由縁部載荷用の影響図

2章 - 基礎原理



3章 - 荷重分割数の設定

- 載荷重を矩形荷重に細分化する. これを「荷重スキャン」と称する.
- 「細分化矩形荷重」により原点に発生するたわみ・自由縁部応力を算出する.
- 最後に全ての応答を合算する.
- y 方向の荷重分割数を変化させて誤差を評価した結果, 200分割で十分と判断した.



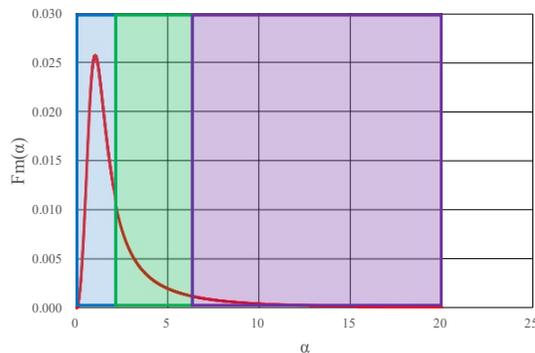
正対している
楕円形荷重の
荷重スキャン例

角度を有する
矩形荷重の
荷重スキャン例

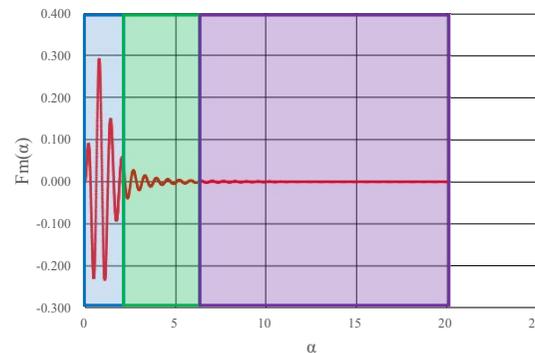
3章 - 数値積分の設定

- 数値積分間隔 $\Delta\alpha$ と 数値積分を打ち切る Z を設定する必要がある.
- 旧プログラムでは上表の設定.
- 誤差を検証の上, 新プログラムでは下表の設定とした.

横に短い载荷重の場合



横に長い载荷重の場合



領域名	α	Z	$\Delta\alpha$
A	0~2	—	0.1
B	2~6	—	0.5
C	6~Z	20	1.0

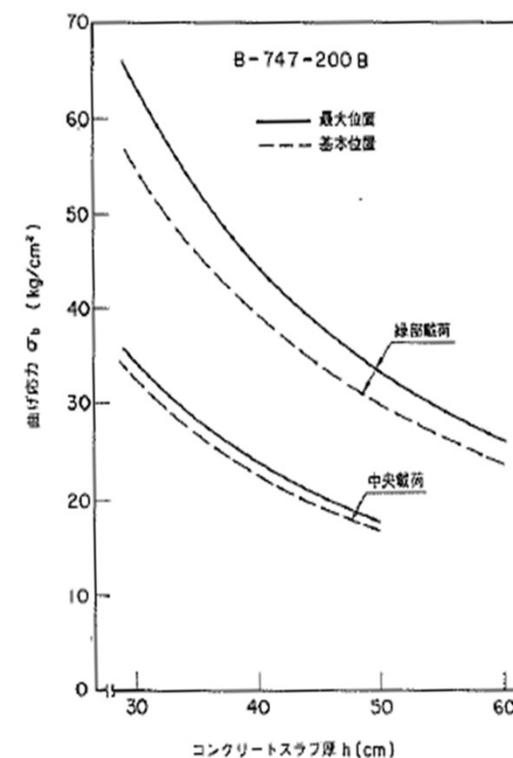
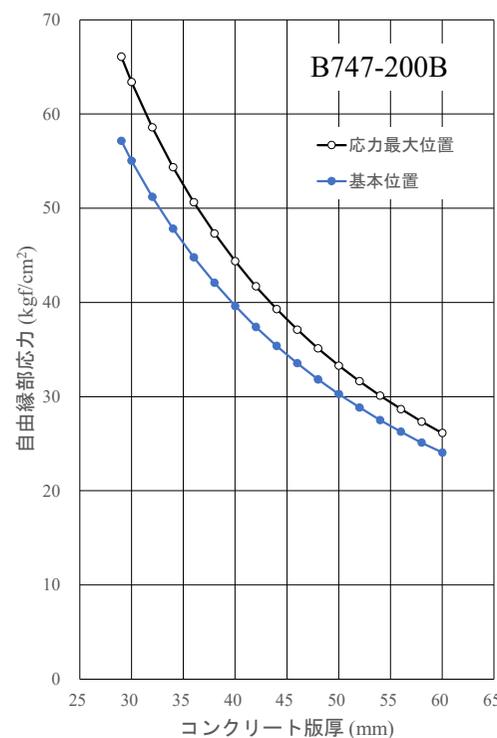
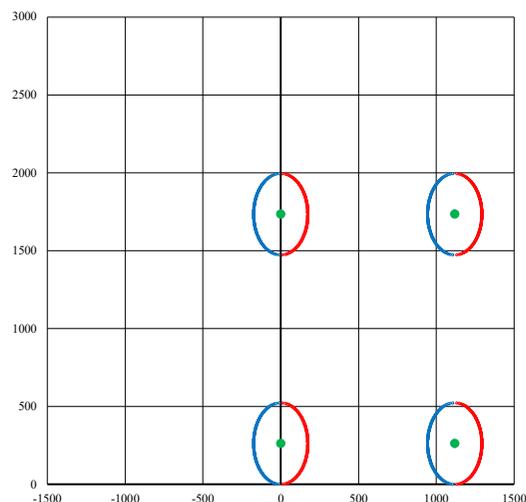


領域名	α	Z	$\Delta\alpha$	備考
A	0~5	—	0.02	
B	5~Z	500	5	横に短い载荷重 ↑ 横に長い载荷重
		101	2	
		100	0.2	
		500超まで	波長の1/8	

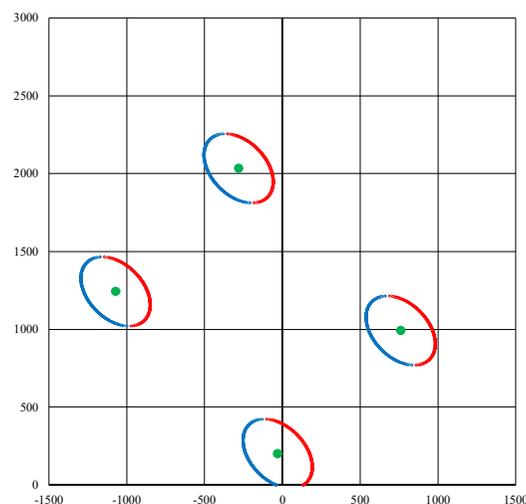
4章 - 旧プログラムによる解析結果との比較

港研資料には解析値そのものの記載がないため数値比較ができないが、同等の値が得られていることを確認。

基本位置の脚荷重配置



応力最大位置の脚荷重配置



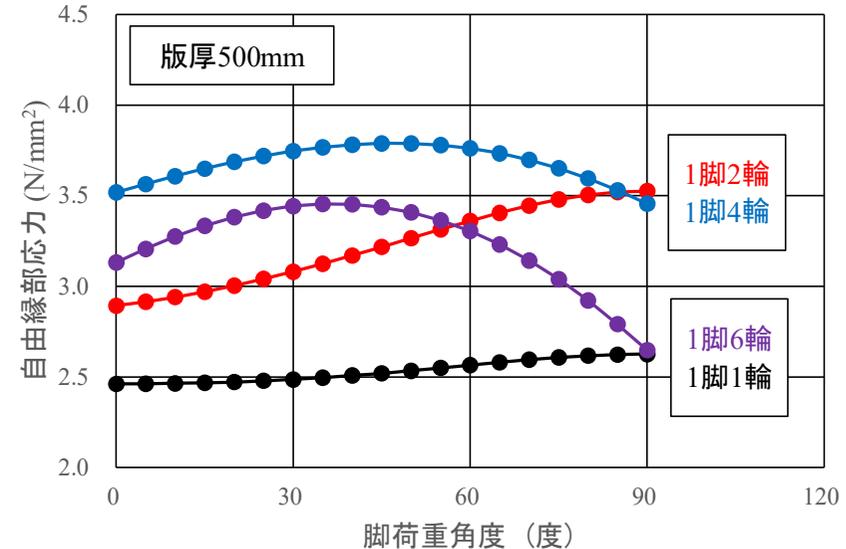
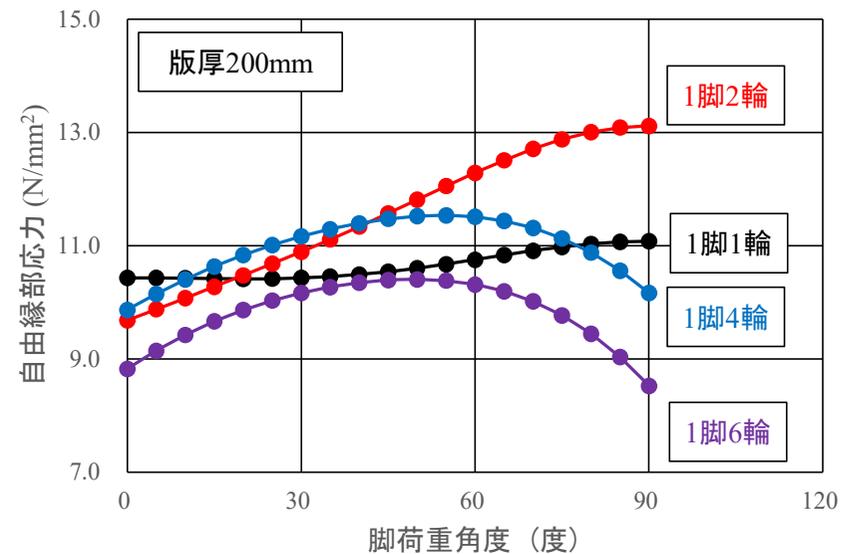
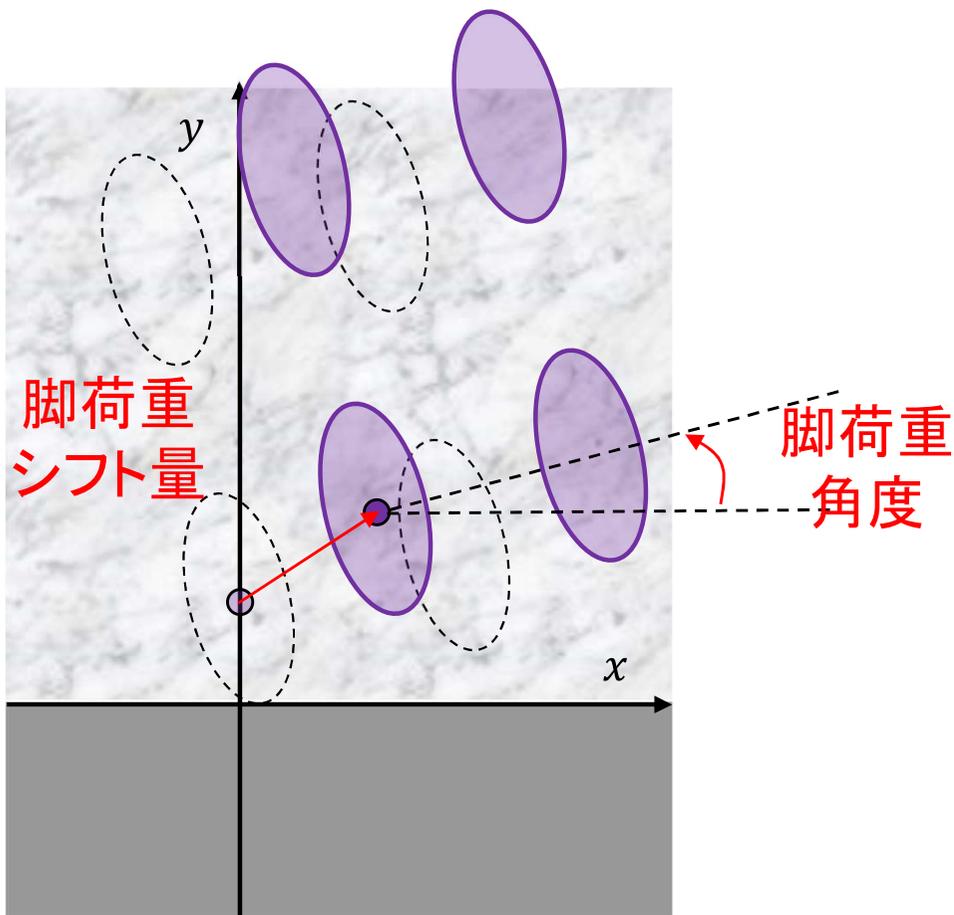
新プログラム

旧プログラム
(港研資料から抜粋)

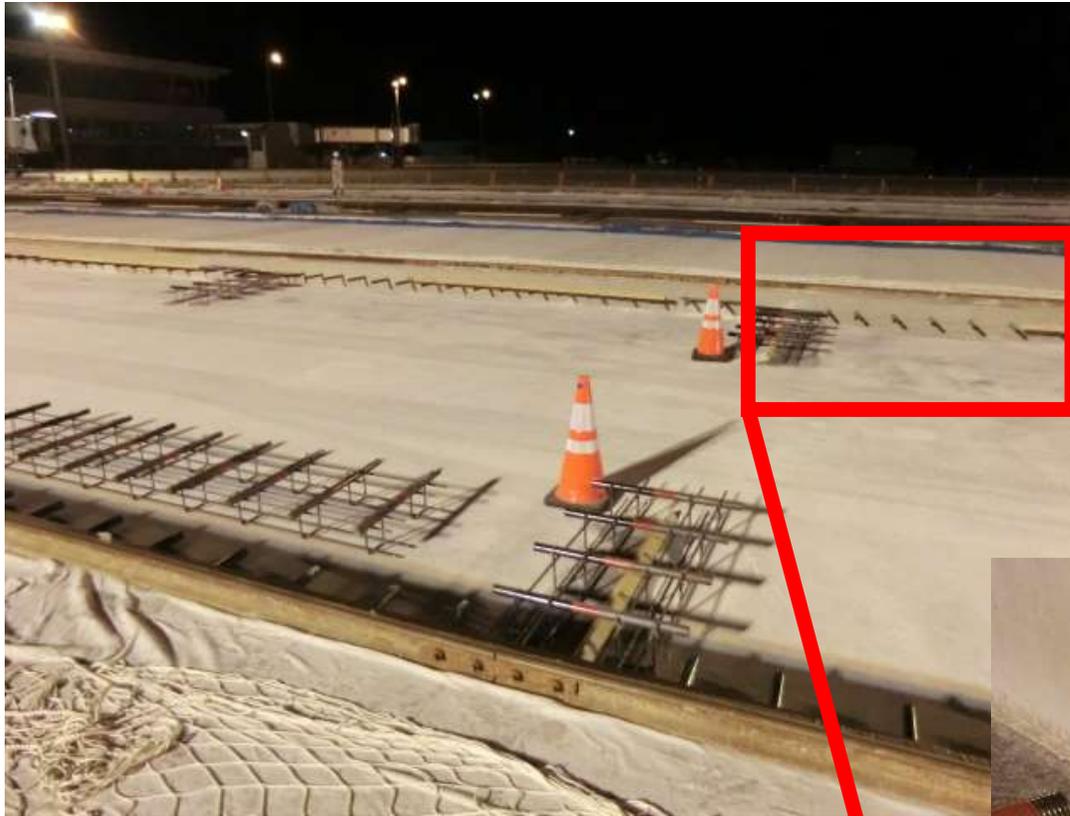
4章 - 自由縁部応力が最大となる脚荷重角度・シフト量

【脚荷重角度】【脚荷重シフト量】を変化させ、自由縁部応力の傾向を整理した。

- 1脚1輪/2輪は脚荷重角度90度で最大. 1脚4輪/6輪は30-60度で最大.
- 原点近傍の載荷重が少しだけ版からはみ出た状態で応力が最大.
- これらの傾向は版厚によらない.



4章 - 端部増厚に関する考察



既に打設された
コンクリート版の側面



既に設置された
ダウエルバーの半分

これから連結する
ダウエルバーの半分

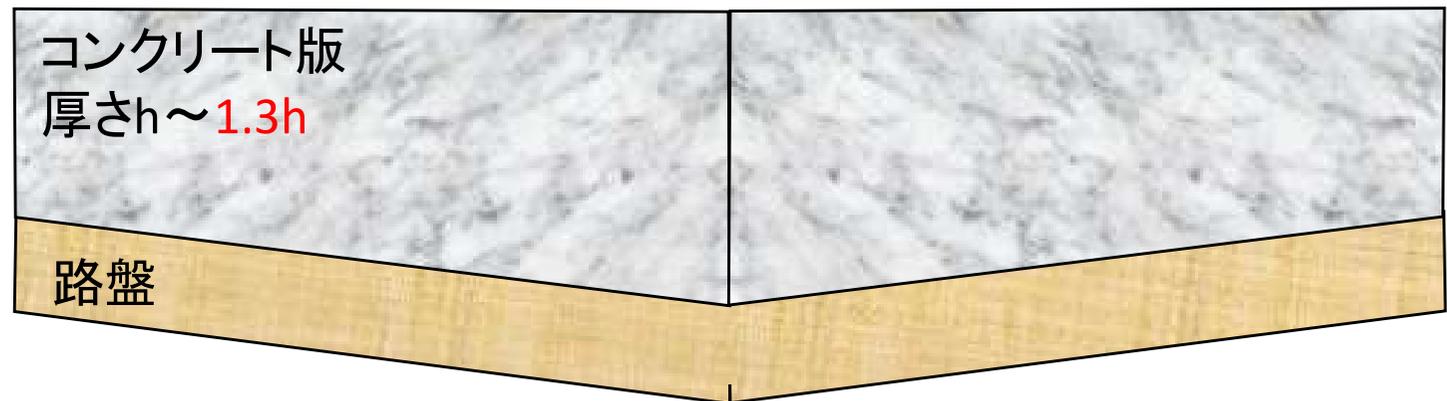
4章 - 端部増厚に関する考察

- コンクリート舗装の目地は構造上の弱点となる(応力が大きくなる).
- そのため, 目地にはダウエルバーが設置されている.
- ダウエルバーが設置できない目地は, 端部増厚型(当該目地のコンクリート版厚を1.3倍)とする場合がある. 米国では1.2や1.25の記載がある.
- 端部増厚倍率1.3は海外事例等を参考にしたと推察されるが, 新プログラムを用いて検証したところ1.19~1.32の範囲であり, 妥当であることを確認した.

一般的な目地



端部増厚型の目地



結論

- プログラムを再構築し、荷重スキャン方法、荷重分割数設定、数値積分設定の詳細を整理した。
- 自由縁部応力に対する脚荷重角度・脚荷重シフト量の傾向を整理した。
- 端部増厚型の目地における端部増厚倍率1.3の妥当性を確認した。

プログラムの使用については
国総研・空港施設研究室HPをご覧ください

<https://www.y.sk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/sisetu/index.html>