

有限要素法に関する検証 と妥当性確認事例

関西大学・社会安全学部

一井康二

本日の構成

1) 有限要素法の動的解析プログラムの検証と妥当性確認事例

ということで、FLIPを例に、どのような検証や妥当性確認が行われているか、完全に網羅できているわけではありませんが、いくつか例を紹介します。

この部分は、FLIP研究会やFLIPコンソーシアムなどの検討事例です。

2) 創成解による検証と妥当性確認の試み

後半は、あまりよく理解できていないので、少しご意見をいただきたく、

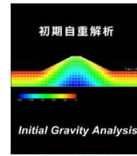
「創成解」の考え方に基づいた検証と妥当性確認の試みの例を紹介します。

間違いもあるかもしれませんので、ご指摘・ご議論いただければ、幸いです。

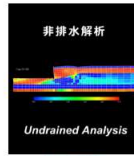
後半の部分は、東電設計・兵頭さんと共同で検討中です。

FLIPプログラムの概要は、
FLIPコンソーシアムのHP（www.flip.or.jp）などを参照してください

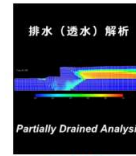
[FLIPプログラムの主な機能・特長](#)



[クリックで詳細表示](#)



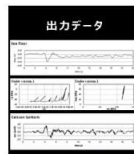
[クリックで詳細表示](#)



[クリックで詳細表示](#)
[クリックでシミュレーション動画へ](#)



[クリックで詳細表示](#)



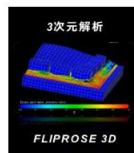
[クリックで詳細表示](#)



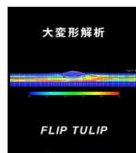
[クリックで詳細表示](#)



[クリックで詳細表示](#)



[クリックで詳細表示](#)
[クリックでシミュレーション動画へ](#)



[クリックで詳細表示](#)

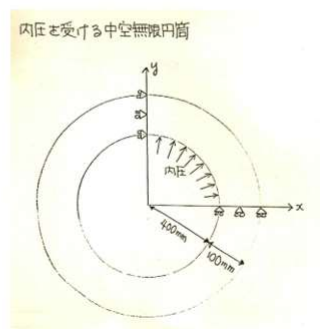
○検証（Verification）の事例○

< 理論解との比較 >

・ 内圧を受ける中空無限円筒

時期：開発時（1987年）

対象要素：線形平面要素（4節点および8節点）



< 検証された解析コードとの比較 > ♪

・ 節点集中力を受けるハリ ♪

時期：開発時（1987 年） ♪

対象要素：はり要素（2 節点，3 節点） ♪

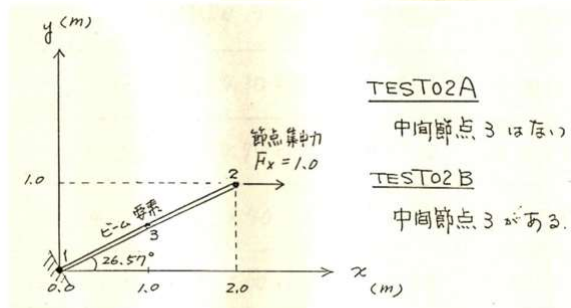


図 9 節点集中力を受けるハリの問題設定 ♪

TDAPと比較して確認

	FLIPP		TDAP	FLIPP22 (参考)
	TEST02A (2節点要素)	TEST02B (3節点要素)		
節点2の変位 U_x (mm)	4.16×10^{-3}	4.24×10^{-3}	4.24×10^{-3}	4.24×10^{-3}
" U_y (mm)	-4.03×10^{-3}	-4.17×10^{-3}	-4.17×10^{-3}	-4.17×10^{-3}
" ϕ (rad)	-4.17×10^{-4}	-4.30×10^{-4}	-4.30×10^{-4}	-4.30×10^{-4}
軸力 (mm)	8.74×10^{-1}	8.74×10^{-1}	8.74×10^{-1}	8.74×10^{-1}
せん断力 (mm)	-4.47×10^{-1}	-4.40×10^{-1}	-4.47×10^{-1}	-4.47×10^{-1}
モーメント (11節点) (mm)	-1.00×10^0	-1.00×10^0	-1.00×10^0	-1.00×10^0
モーメント (17節点) (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0

< モデルの想定挙動との比較 > ♪

創成解による手法を適用した例はないが，非線形のモデルの導入にあたっては，モデルで想定していた挙動が実現されているかどうかを，解析結果の出力により確認することが行われている． ♪

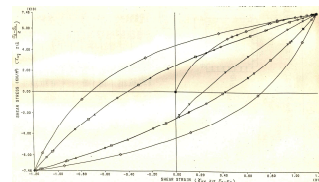
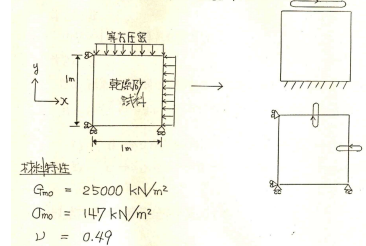
♪

・ マルチスプリングモデルの履歴特性 ♪

時期：開発時（1987 年） ♪

対象要素：非線形要素（マルチスプリング要素） ♪

例題7 マルチスプリングモデルの履歴特性



＜その他の検証＞

- ・コンパイル方法の変更による動作確認

時期：FLIP 7.1.9-6-2_3（2012 年）

対象要素：全般

2. Open Watcom 版 FLIP と Intel Fortran 版 FLIP の実行速度等の違いについて

例題による実行速度と解析結果の比較

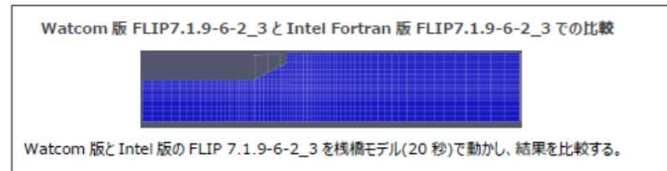


図 19 コンパイル方法の変更による影響の評価のための問題設定

コンパイル方法を変更したことにより、解析実行速度や解析結果の精度に変化が生じる。この例では、栈橋を例題として、コンパイル方法の変更の影響を評価している。

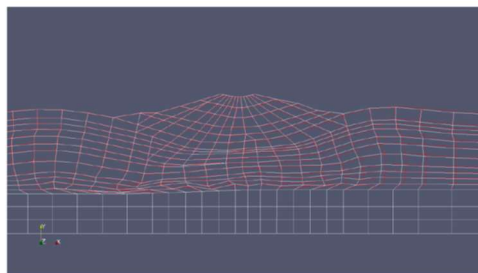
- ・既存機能の動作確認

時期：FLIP 7.3.0（2014 年）

対象要素：全般

他のタイミングでも、
確認はされています。
あくまでも、2014年のものを
例示しているだけ

プログラムのバージョンを大きく変更した場合、既存機能の動作確認として、解析結果の比較が行われる。このとき、桁落ち等の影響もあり、解析結果が微妙に変化することがある。

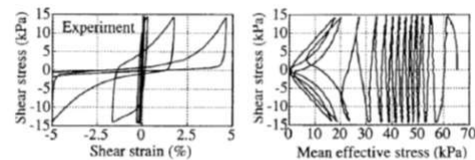


赤：FLIP Ver.7.3.0
白：FLIP Ver.7.1.3

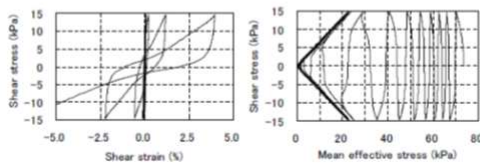
○妥当性確認（Validation）の事例○

＜要素挙動の確認＞

そもそも、パラメータ設定のために行われる要素シミュレーションは、繰り返し三軸試験における土の挙動をきちんと再現できることを確認する手続きであり、妥当性確認の一種であると考えられる。



(a) 試験結果であるせん断応力-せん断ひずみ関係（左図）と有効応力経路図（右図）

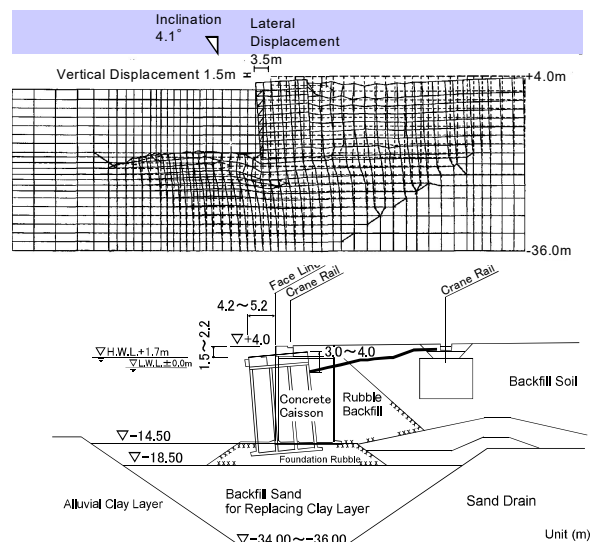


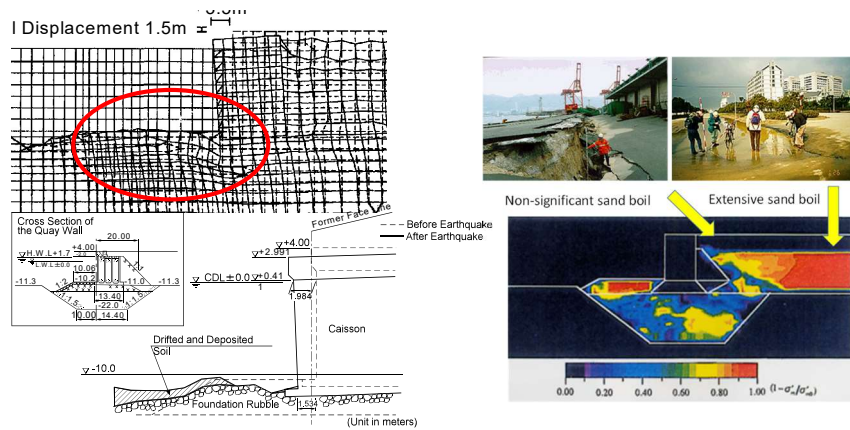
(b) 従来モデルによるせん断応力-せん断ひずみ関係（左図）と有効応力経路図（右図）

要素挙動の比較例（軸方向変位拘束試験を対象にした例）
（試験結果はMatsuoら,2000）

＜被災事例との比較＞

妥当性の確認の多くは、被災・無被災事例との比較を通じて行われる。しかし、解析の再現性はパラメータの妥当性とセットで議論されるべきものである。



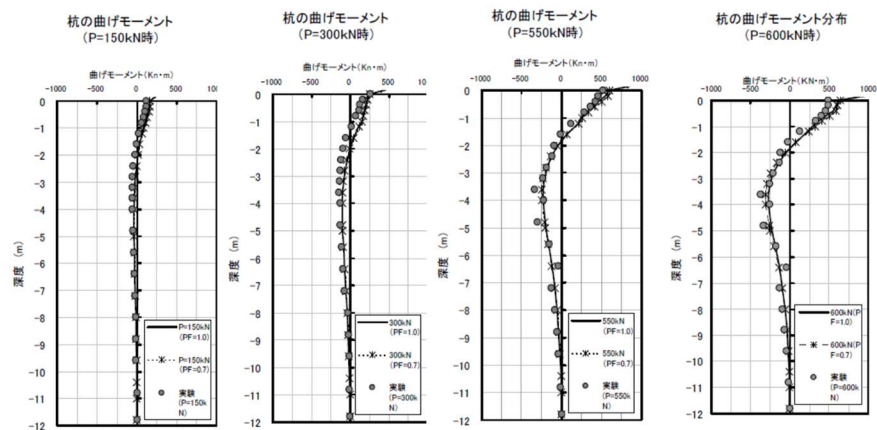


解析結果と被災事例の詳細な比較例（基礎地盤の変形と液状化の痕跡）

<実験結果との比較>

比較対象となる適当な被災事例・無被災事例がない場合には、実験結果との比較検討により妥当性確認が行われる。例えば、下図は杭の水平荷重試験について、解析結果と実験結果を比較した例である。しかし、実験においても計測結果のばらつきは存在するため、妥当性の判断には難しい点が残されている。

実験も含めたV&Vは、遠心実験を用いたLEAPなどの試みを参照されたい
(3/14-15に国際ワークショップがあります)



2



図 35 解析技術者の違いによる解析結果のばらつきの検討事例。

○検証と妥当性確認の事例の整理○

	検証 (Verification)	妥当性確認 (Validation)
要素モデル (材料特性)	①	②
全体系モデル (線形モデル)	③	④
全体系モデル (非線形モデル)	⑤	⑥

検証と妥当性確認の2種類に対し、
要素レベル・全体系の線形応答・全体系の非線形応答の3段階が存在し、
6つのカテゴリに分類される。

全てを網羅しているわけではないが、検証と妥当性確認の事例の分類例

<要素レベルの検証> ・要素シミュレーション (単調載荷など、パラメータ設定時) ・分布力作用下のはり ・非線形要素応答 ・板曲げ要素の固有値解析 ・節点集中力下のはり ・履歴特性 ・トリリニアモデルの軸力依存性 ・杭周辺摩擦用非線形ばね	<要素レベルの妥当性確認> ・要素試験結果との比較 ・Ka効果
<全体系の検証（線形）> ・内圧を受ける中空円筒 (ただし、動的解析ではない) ・流体要素による動水圧評価 ・定常浸透流解析 ・定常加振応答解析 ・地震荷重をうける建屋・地盤連成系	<全体系の妥当性確認（線形）> 線形の全体系の問題というのは 検証の対象であって、 妥当性確認の対象ではない？
<全体系の検証（非線形）> ・コンパイル方法の変更による動作確認 ・既存機能の動作確認	<全体系の妥当性確認（非線形）> ・各種の被災事例との比較 ・実験結果との比較 ・解析結果のばらつき検討 ・初期状態の確認

本日の構成

1) 有限要素法の動的解析プログラムの検証と妥当性確認事例

=> 特段のまとめはありません。体系化に向けた単なる事例紹介です。

2) 創成解による検証と妥当性確認の試み

後半は、あまりよく理解できていないので、少しご意見をいただきたく、

「創成解」の考え方に基づいた検証と妥当性確認の試みの例を紹介します。

間違いもあるかもしれませんが、ご指摘・ご議論いただければ、幸いです。

後半の部分は、東電設計・兵頭さんと共同で検討中です。

本日のまとめ

1) 有限要素法の動的解析プログラムの検証と妥当性確認事例

=> 特段のまとめはありません。体系化に向けた単なる事例紹介です。

2) 創成解による検証と妥当性確認の試み

「創成解」の考え方に基づいた検証を試みました。

ターゲットは杭の押し込み解析です。

=> なんらかの検証か妥当性確認にはなっている気がする。

=> プログラムというより問題設定の検証なのか（妥当性確認なのか？）

=> どういう時に、用いるべきと考えればいいのか？

このあたりが、ガイドラインの策定において、クリアになるとよいと思います。