

III-433

高速荷重を受ける土と構造物の非線形動的相互作用解析に関する一考察

防衛大学校 (正) 〇森 雅美・(正)佐藤紘志

1. まえがき 著者らは、土のひずみ速度効果を組み込んだ有限要素法による非線形動的応答解析法にジョイント要素を導入することにより、高速載荷時の土と構造物の境界面における剥離や滑動現象を考慮した動的相互作用問題の評価を試みてきた¹⁾。そこでは、土のひずみ速度効果とジョイント要素導入の各々の影響の検討などに不十分な部分を残していた。本報告では、土のひずみ速度効果とジョイント要素導入の各々の影響を数値解析的に検討することを目的として、衝撃波を受ける粘性土中に埋設されたパイプの動的挙動に関する模型実験²⁾を取り上げ、数値解析結果と実験結果との比較検討を行った。

2. 粘性土の構成モデルおよびジョイント要素 本研究では、粘性土の構成モデルとして強度特性のみにひずみ速度効果を考慮した Capモデル¹⁾を用い、粘性土とパイプの境界面に6節点で構成される厚さゼロのジョイント要素¹⁾(2次アイソパラメトリック要素)を導入して2次元平面ひずみ条件下で非線形動的応答解析³⁾を行った。

表-1 解析ケース

CASE	ITEM	Strain Rate	Joint Element
Case-A	×	×	×
Case-B	○	○	×
Case-C	×	×	○
Case-D	○	○	○

3. 解析対象 今回解析の対象としたのは、ショックチューブによる空気衝撃波発生装置を用いて、応力波を土中に伝播させたときの粘性土中に埋設された2種類の剛性の異なるパイプ(Rigid Pipe: 外径 100 mm, 厚さ 2.0 mm, Flexible Pipe: 外径 100 mm, 厚さ 0.5 mm)の動的応答に関する模型実験²⁾の結果である。

高速載荷装置、解析モデル、外力および解析に用いた材料定数の詳細については文献1)を参照されたい。

4. 解析結果と考察 本研究では、ひずみ速度効果に加えて剥離や滑動現象を考慮した土と構造物の動的挙動の検討を目的としている。これらの両非線形性は相乗効果として働くため各々図-1(a) FP底部変位の解析結果の効果を分離することは困難である。

しかし、各々の効果を概略的に検討するため表-1に示すような4ケースの数値解析を行った。これらの数値解析結果と実験結果の比較検討を行い、ひずみ速度効果による影響とジョイント要素導入の影響を考察する。なお、本報告ではFlexible Pipe (FP)に関する数値解析結果のみを取り上げる。

(1) ひずみ速度効果による影響

図-1(a), (b)と図-2(a), (b)はジョイント要素を導入しない場合と導入する場合とにおけるひずみ速度効果による影響を検討するため各々 Case-A と Case-B および Case-C と Case-D の図-2(a) FP底部変位の解析結果の図-2(b) FP側方土圧の解析結果の比較(Case-C vs. Case-D)パイプ底部における鉛直変位とパイプ

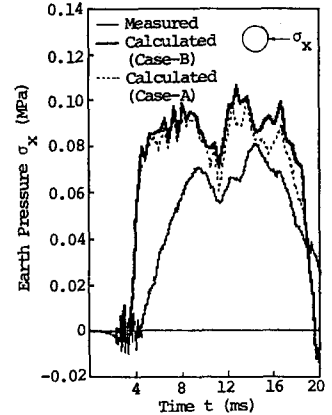
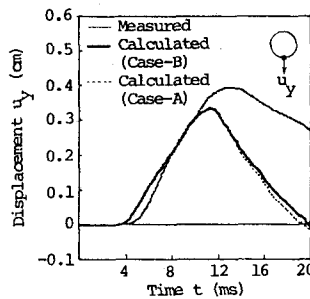


図-1(a) FP底部変位の解析結果の比較(Case-A vs. Case-B) 図-1(b) FP側方土圧の解析結果の比較(Case-A vs. Case-B)

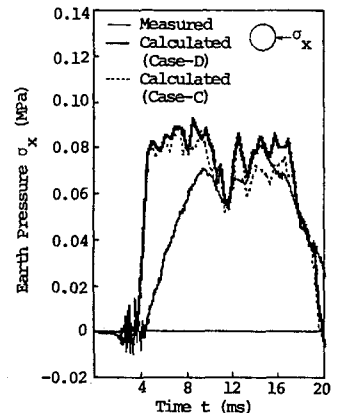
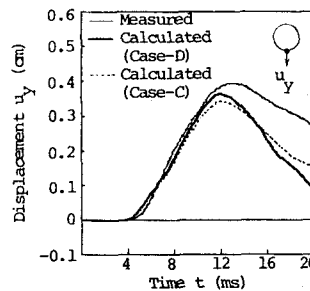


図-2(a) FP底部変位の解析結果の比較(Case-C vs. Case-D) 図-2(b) FP側方土圧の解析結果の比較(Case-C vs. Case-D)

側方における作用土圧の解析結果を比較したものである。各場合とも細かい実線は実験結果を、太い実線はひずみ速度効果を考慮する場合の、また点線は考慮しない場合の解析結果を示している。図-1よりジョイント要素を導入しない場合には、ひずみ

速度効果を考慮する場合 (Case-B) の解析結果は考慮しない場合 (Case-A) に比べ $t=12$ ms 以降の鉛直変位は多少大きくなっており、またひずみ速度効果によって側方土圧が多少増大する傾向にあるがその効果はあまり大きくないことが認められる。図-2よりジョイント要素を導入する場合には、ひ

ずみ速度効果を考慮する場合 (Case-D) の解析結果は考慮しない場合 (Case-C) に比べ $t=12$ ms までは多少

鉛直変位は大きく、 $t=12$ ms 以降では逆に多少小さくなる傾向にあるがその度合はあまり大きくない。また、ひずみ速度効果によって側方土圧が多少増大する傾向にあり、 $t=12$ ms 以降では実験結果との対応性の改善が認められる。以上述べたように両例においては、ひずみ速度効果はさほど顕著に現れなかった。これは、本解析例の場合では上方からの圧縮力が主として作用し、せん断ひずみがあり大きくならなかったためと考えられる。

(2) ジョイント要素導入の影響

図-3(a), (b) と図-4(a), (b) はひずみ速度効果を考慮しない場合と考慮する場合とにおけるジョイント要素導入の影響を検討するため各々 Case-A と Case-C および Case-B と Case-D のパイプ底部鉛直変位とパイプ側方土圧の解析結果を比較したもの

である。図-3よりひずみ速度効果を考慮しない場合には、鉛直変位、側方土圧とも $t=12$ ms までは両者の解析結果はお互いにほぼ一致しているが、 $t=12$ ms 以降ではジョイント要素を導入した場合 (Case-C) の解析結果の方が変位は大きく、また側方土圧は小さくなっており実験結果との対応性の改善が明瞭に認められる。図-4よりひずみ速度効果を考慮する場合も、ひずみ速度効果を考慮しない場合とほぼ同様の傾向にあり、実験結果との対応性の改善も明瞭に認められる。

5. あとがき 本研究は、土と構造物の動的相互作用問題において、土のひずみ速度効果の材料非線形性に加えて土と構造物の境界面における剥離や滑動現象の構造非線形性を考慮に入れ、高速荷重を受ける土と構造物の動的挙動を数値解析により検討したものである。その結果、本解析例の範囲内ではひずみ速度効果はさほど顕著に現れないこと、またジョイント要素を導入することにより実験結果との対応性の改善が明瞭に認められるなどその効果のある程度まで明らかにすることができたが、まだ実験結果との対応性などに不十分な部分を残している。実験条件のモデル化の問題を検討すること、また土の変形特性や減衰特性にひずみ速度効果を導入することなどが今後の課題である。

(参考文献) 1) 森・佐藤・小暮: 構論 Vol.35A, pp.1319-1330, 1989.3. 2) 藤本: 構論 Vol.31A, pp.439-450, 1985.3. 3) Bathe, K.H. et al.: Struct. Eng. Lab., Univ. of California, Feb., 1974.

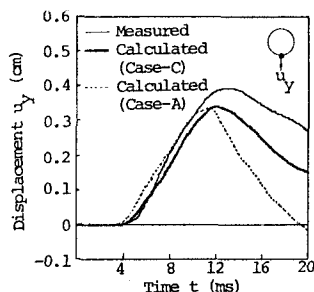


図-3(a) FP底部変位の解析結果の比較(Case-A vs. Case-C)

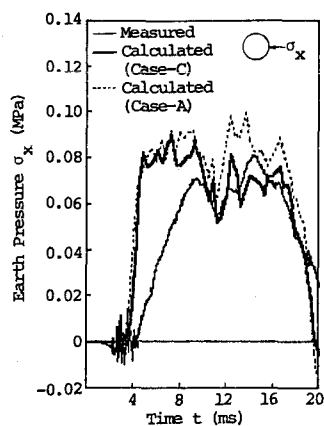


図-3(b) FP側方土圧の解析結果の比較(Case-A vs. Case-C)

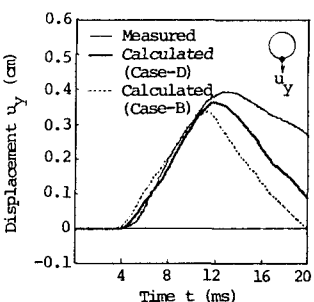


図-4(a) FP底部変位の解析結果の比較(Case-B vs. Case-D)

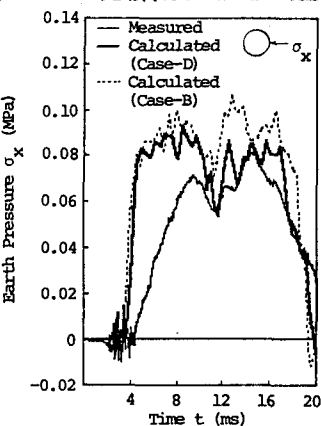


図-4(b) FP側方土圧の解析結果の比較(Case-B vs. Case-D)