



Challenge of Detecting Deep-Ground Cavities Using Wave Propagation in Soil



地盤内波動伝播特性に着目した深部空洞探査の可能性

Cave-ins, which occur in various places both in Japan and overseas, are serious problems that may cause economic damages and human casualties. Radar surveys can detect relatively shallow cavities with high accuracy, but it is difficult to detect cavities deeper than 2m below the ground surface. Currently, there is no effective non-destructive exploration for deep cavities. In this study, the characteristics of elastic wave propagation around cavities were investigated by DEM (Discrete Element Method) analysis and field tests, and the possibility of detecting such deep cavities is considered.

地表に突如として穴があく地盤陥没現象は経済的被害や人的被害が生じ得る重大な問題となっています。地中レーダーを利用した空洞探査技術により、地下約2m以浅の空洞は探査可能で陥没の予防策が講じられています。一方、地下約2m以深の深部空洞は、場合によっては拡大し大規模な陥没に至る危険があるものの、現行の地中レーダーは適用が困難とされ、探査手法はボーリングやコーン貫入等の直接の確認に限られています。本研究では、そうした地下約2m以深の深部空洞の探査可能性を見出すことを目的として、個別要素法解析(DEM)とフィールド試験によって空洞を有する地盤を作製し、弾性波伝播特性および空洞探査可能性について検討を行っています。

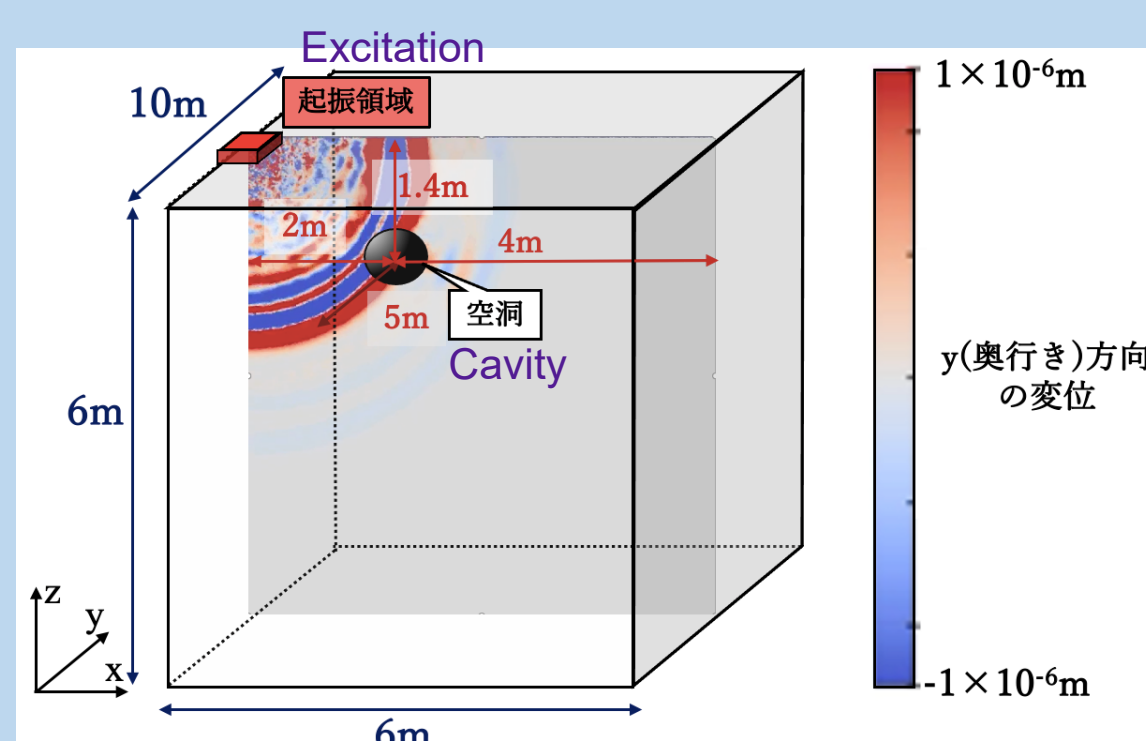
個別要素法解析 DEM Analysis

モデル地盤 Model ground

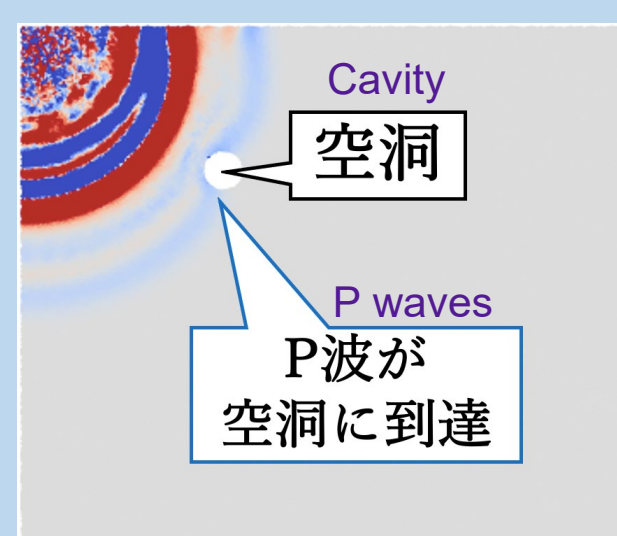
- 高さ6m×幅12m×奥行10m
6m high x 12m wide x 10m deep
- 1.1億個の粒子により構成
consisting of 110 million particles

起振 Excitation

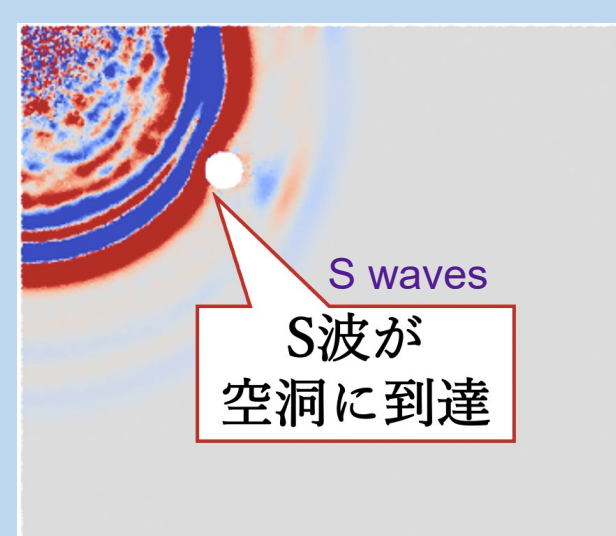
- Y方向に1kHz、振幅1μmの正弦波パルス
1 kHz, 1 μm amplitude, 1 sine wave pulse



DEMモデル地盤
DEM Model Ground



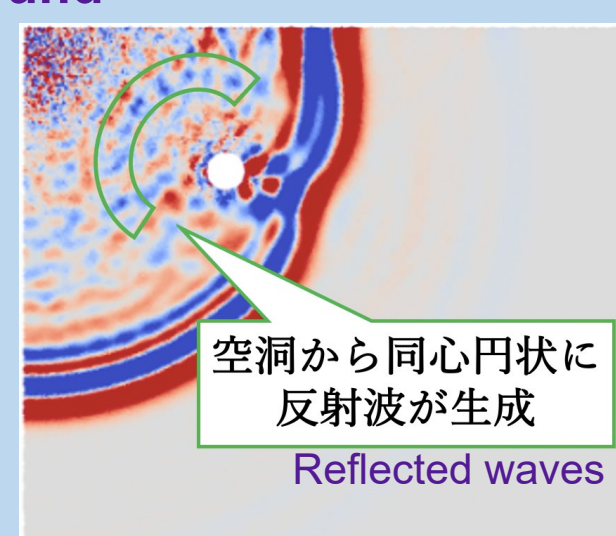
起振から6ms後
6ms after Excitation



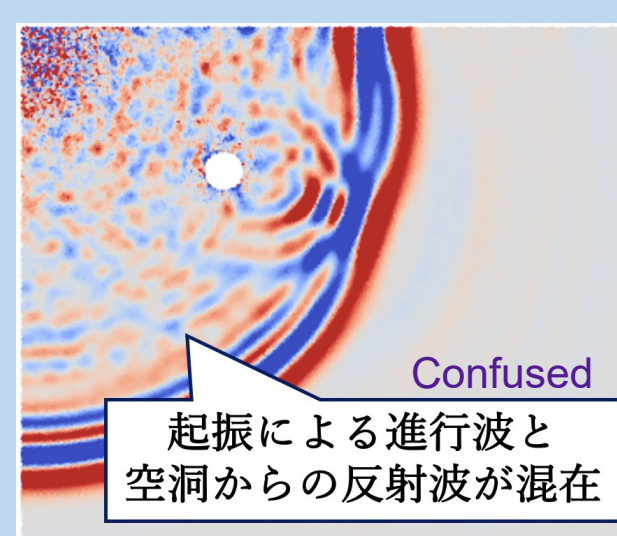
起振から8ms後
8ms after Excitation



起振から10ms後
10ms after Excitation



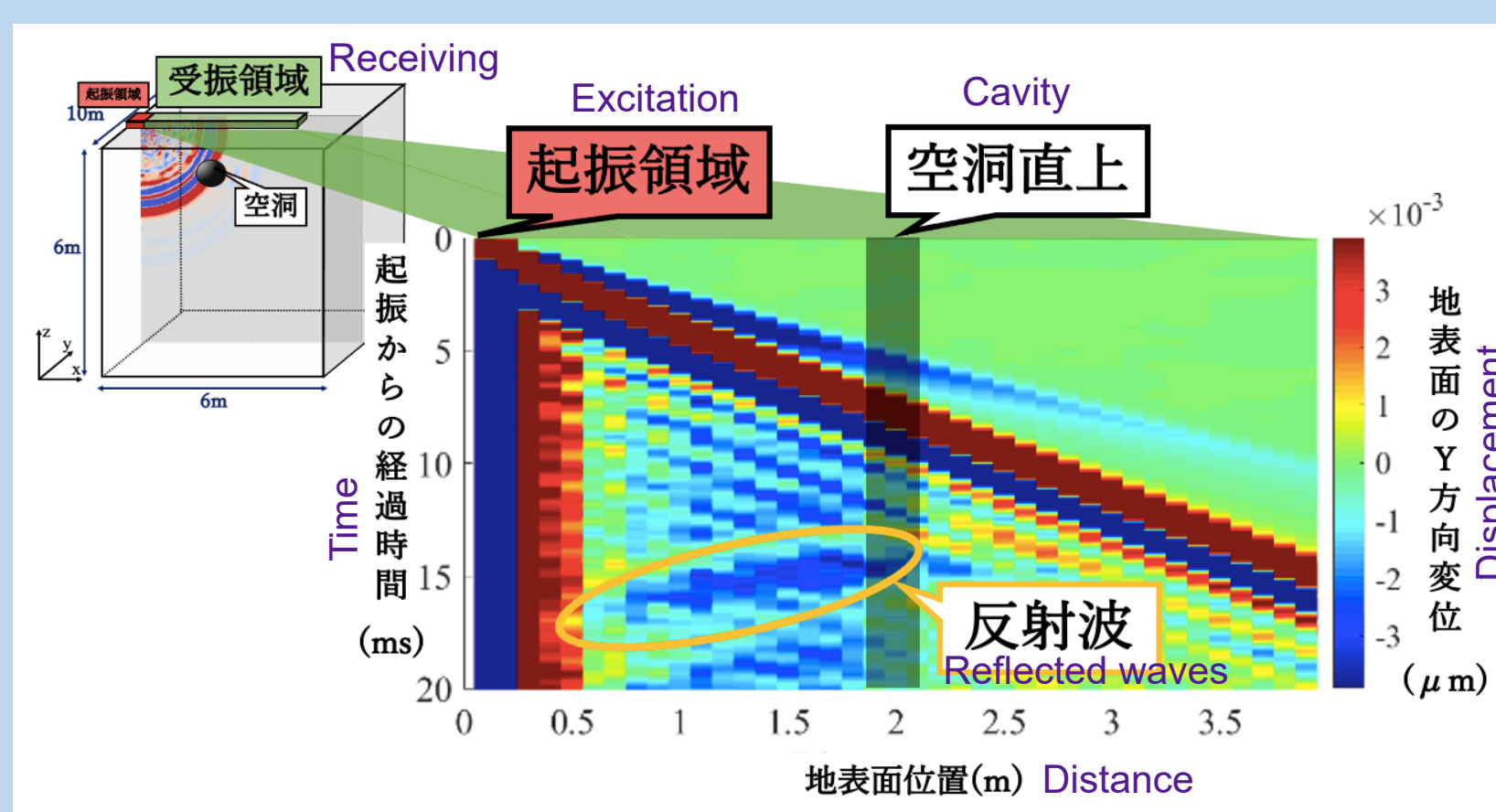
起振から12ms後
12ms after Excitation



起振から14ms後
14ms after Excitation

- 起振領域と空洞直上の間の地表において、起振による進行波(図の右下向き)と空洞からの反射波(図の左下向き)が混在。
The initial waves from the excitation area and reflected waves from the cavity are mixed together on the ground surface between the excitation area and the cavity.

進行波と反射波を明瞭に区別する必要性。
It is necessary to distinguish clearly between initial waves and reflected waves.



時間-位置-地表面変位の関係
The Relationship of Time-Location-Displacement of ground surface

フィールド試験 Field Test

試験地盤 Test ground

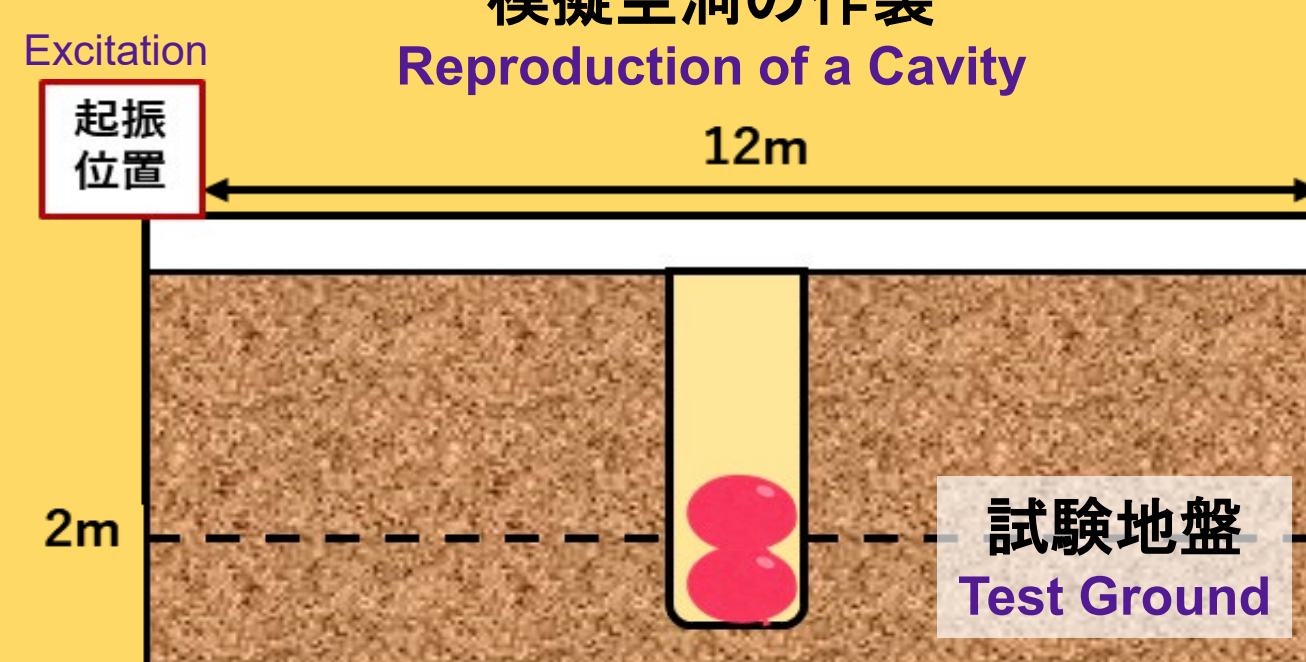
- 深さ2.4mの位置に直径約0.5mのバルーンを設置。
A balloon with a diameter of 0.5m was placed at a depth of 2.4m.
- バルーンをブルーシートで被覆し、埋戻し・締固めを行い空洞を模擬。
The balloon is covered with a blue poly tarp, backfilled and compacted to reproduce a cavity.

起振・測定 Excitation・Measurement

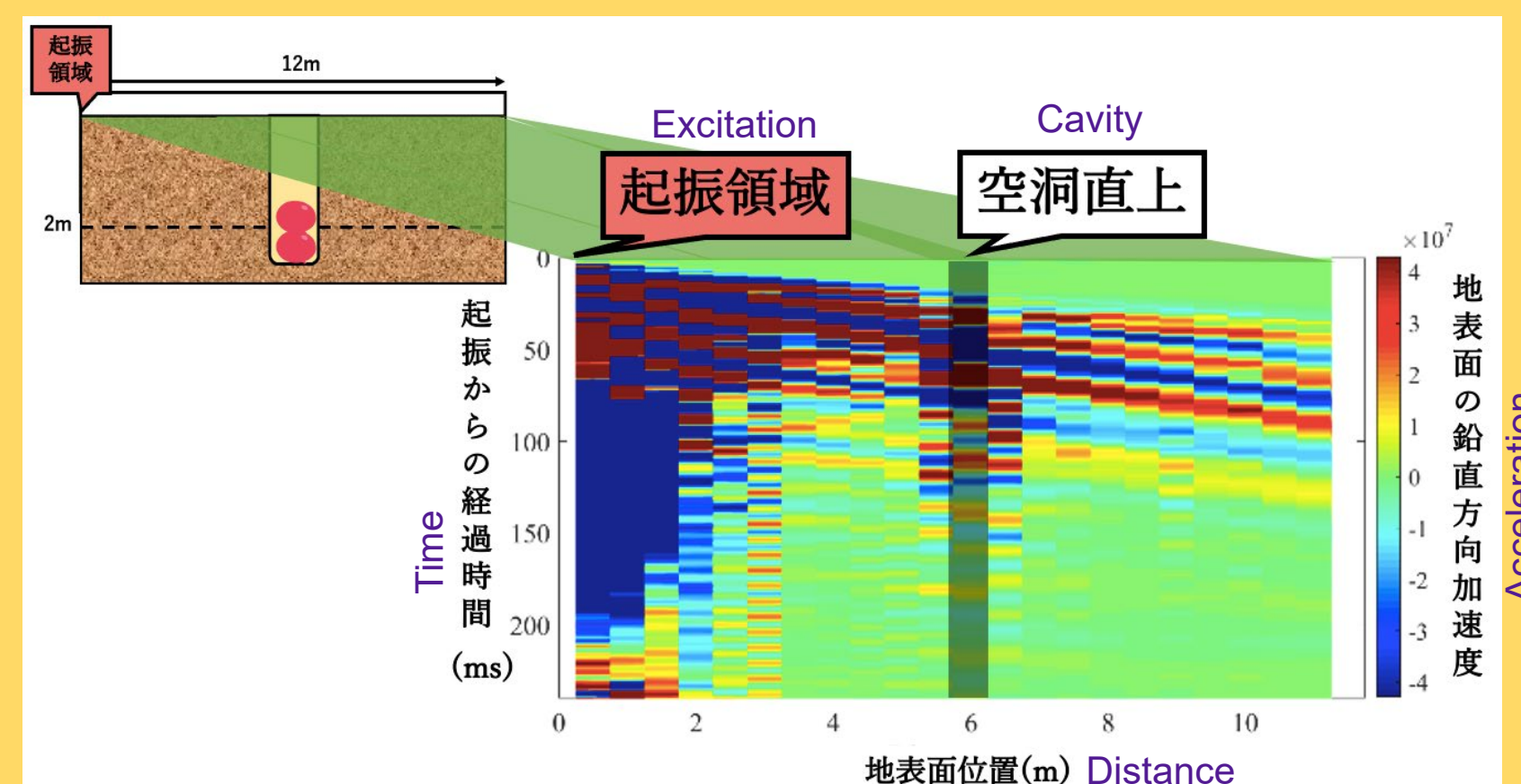
- 掛矢により、Y方向(空洞に対して地表面垂直方向)に起振。
Excitation was created with a hammer in Y direction.
- 表面波探査で一般に使用されるジオフォンと測定器を使用。
Geophones and measuring device commonly adopted in Surface Wave Survey were used.



模擬空洞の作製
Reproduction of a Cavity



- 空洞直上付近の地表において比較的大きな加速度が長く持続している様子を確認
Relatively large acceleration was observed for a long period on the ground surface just above the cavity.



時間-位置-地表面加速度の関係
The Relationship of Time-Location-Acceleration of ground surface

空洞からの反射波の抽出

Extraction of Reflected Waves from Cavities

二次元フーリエ変換 2-Dimensional Fourier transform

- 時空間の2変数関数である受振波データを用い、縦軸に周波数、横軸に波数(空間周波数)を取得。
2-variable function of space-time is used to obtain frequency & wave number (spatial frequency).

解析結果 Analysis Results

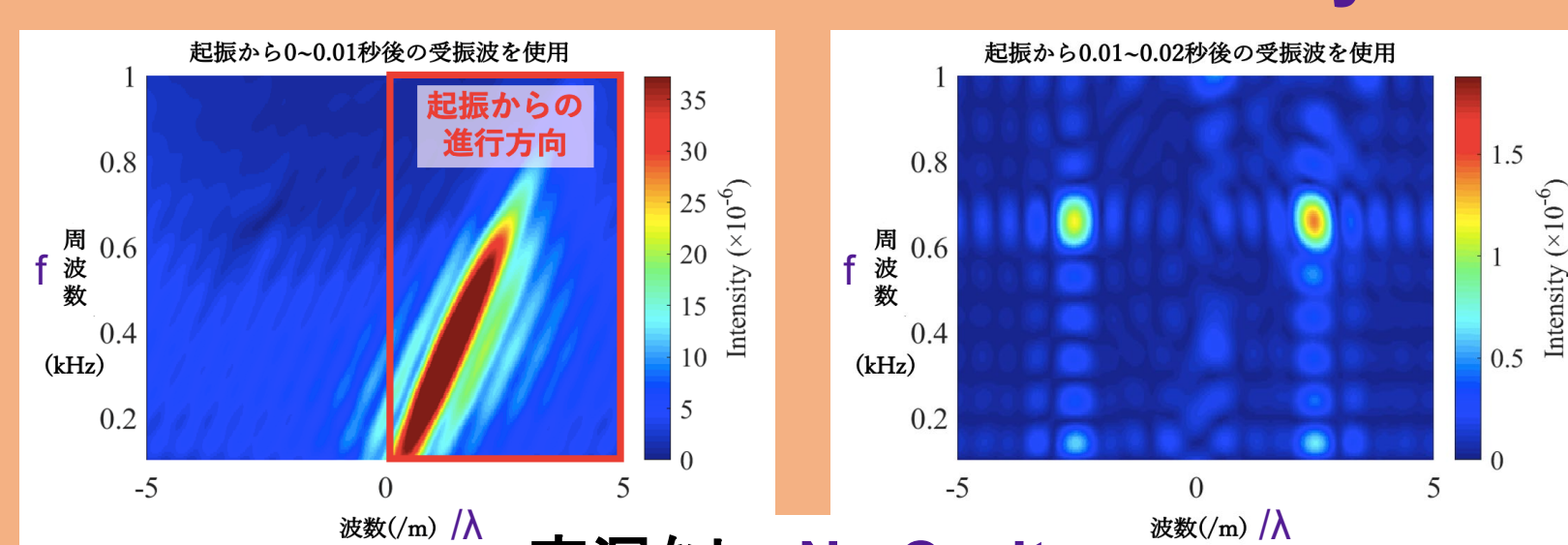
- 個別要素法解析・フィールド試験ともに、
Both in DEM Analysis and in Field Test,

起振直後：起振による進行波を表す領域(図右側)で強いスペクトル
Just after excitation : Strong spectrum of the initial waves from the excitation

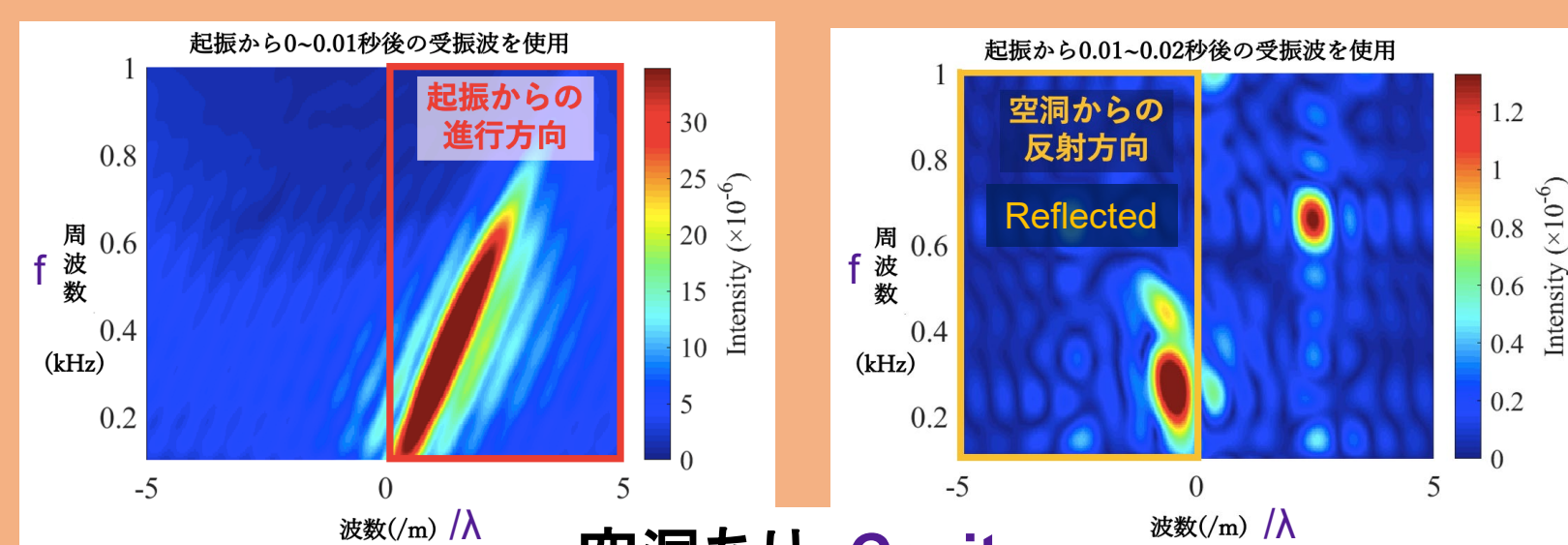
空洞有りの反射波到達時：
空洞からの反射波を表す領域(図左側)で強いスペクトル
At the reflected waves arrival from the cavity : Strong spectrum of reflected waves from the cavity

空洞の存在に伴う反射波の影響を抽出できる可能性
Possibility to extract reflected waves from cavities

個別要素法解析の場合 DEM Analysis



空洞なし No Cavity

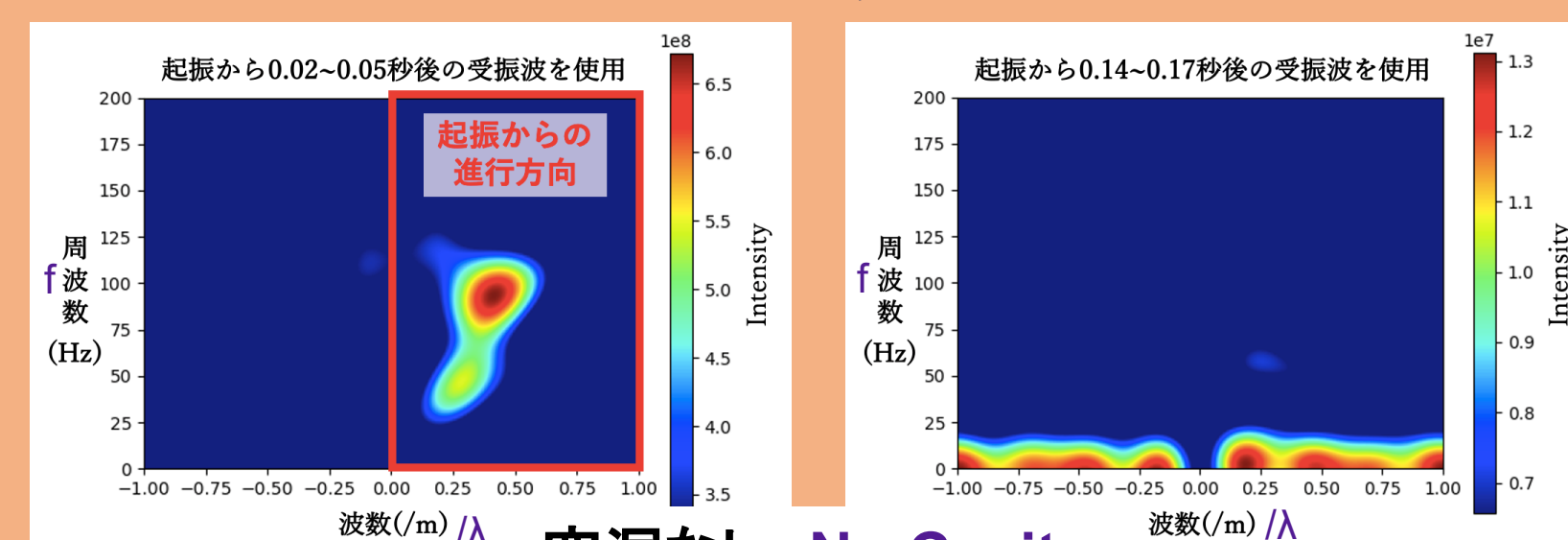


空洞あり Cavity

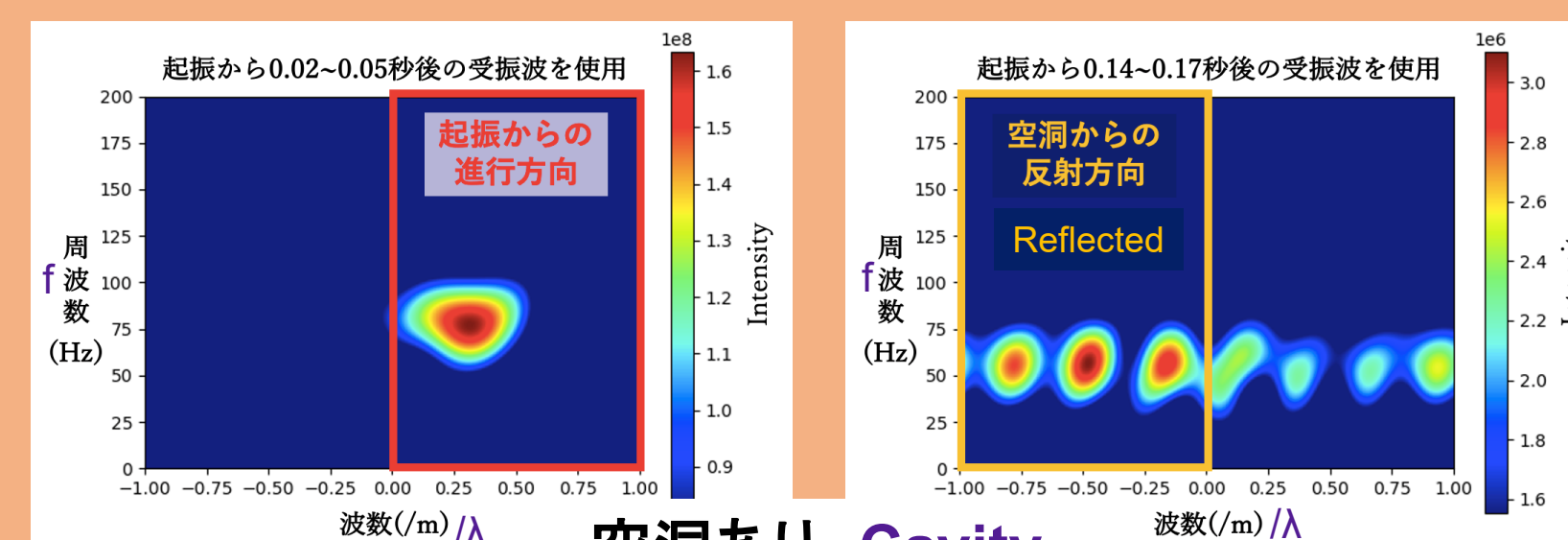
起振直後
Just after Excitation

反射波到達時
At Reflected Waves Arrival

フィールド試験の場合 Field Test



空洞なし No Cavity



空洞あり Cavity

起振直後
Just after Excitation

反射波到達時(推定)
At Reflected Waves Arrival

For further information, contact below.
Prof. Reiko Kuwano,
Bw-304, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
TEL: +81-3-5452-6843
E-mail: kuwano@iis.u-tokyo.ac.jp

唐崎遥平 (2022)
桑野研究室
東京大学 生産技術研究所 Bw-304
電話: 03-5452-6843
E-mail: kuwano@iis.u-tokyo.ac.jp

