

打音法によるケーソン中の欠陥の 非破壊診断に関する研究

安倍正人(岩手大学)

深沢勝一(東京ソイルリサーチ)

目的

❖ 防波堤等ケーソン港湾構造物の側壁の損傷位置の推定

方法

- ・ 上部工のコンクリートの表面に複数のセンサーを設置
- ・ 表面をインパルスハンマで打撃し、その反射波を受音・解析する

なぜインパルスハンマか？

- ❖ 数kHz以下の音(振動)は深部まで届く
- ❖ 装置が小型(可搬できる)
- ❖ センサが小型なので、複数のセンサを用いることによりセンサ出力間の時間差を破損箇所同定に有効利用できる。

従来の打音法の問題点

- ❖ 欠陥が表面に平行な場合に共振が生じることを利用し、共振周波数の調査により欠陥の有無と場所を計測する。

共振が利用できない場合がある。

- ・欠陥が表面に平行でない場合
- ・構造物が複雑な形状の場合

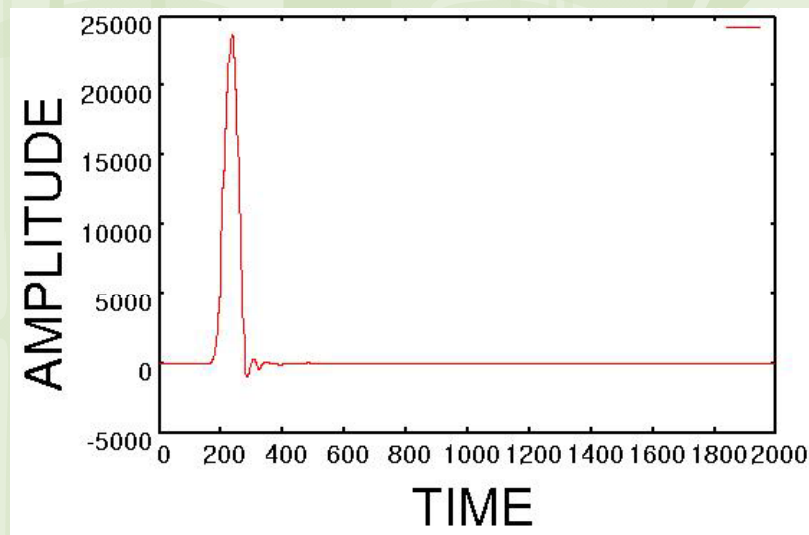
我々が開発した手法

- ❖ センサの出力波形から、反射波が到来した時刻とその振幅を推定
- ❖ 構造体の形状とセンサ及び打撃位置から推測される反射波の到来時刻に現れた反射波を除去する。
- ❖ 残った反射波の位置から欠陥の位置を推定する。

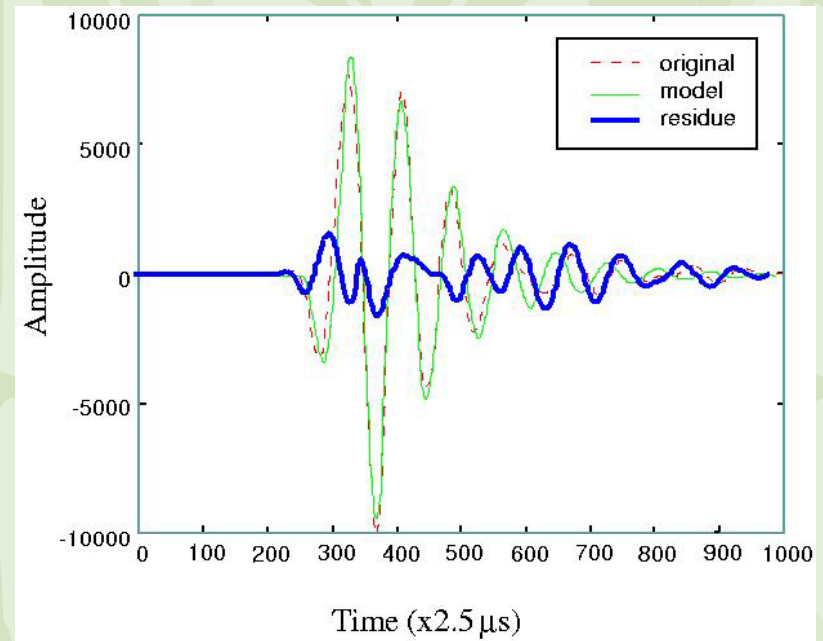
開発した手法の問題点(1)

- ❖ 打撃波形がインパルス状の場合でも、センサ波形は指数関数的に減衰する正弦波のようになる。

ダムの実験で得られた波形



インパルスハンマの波形



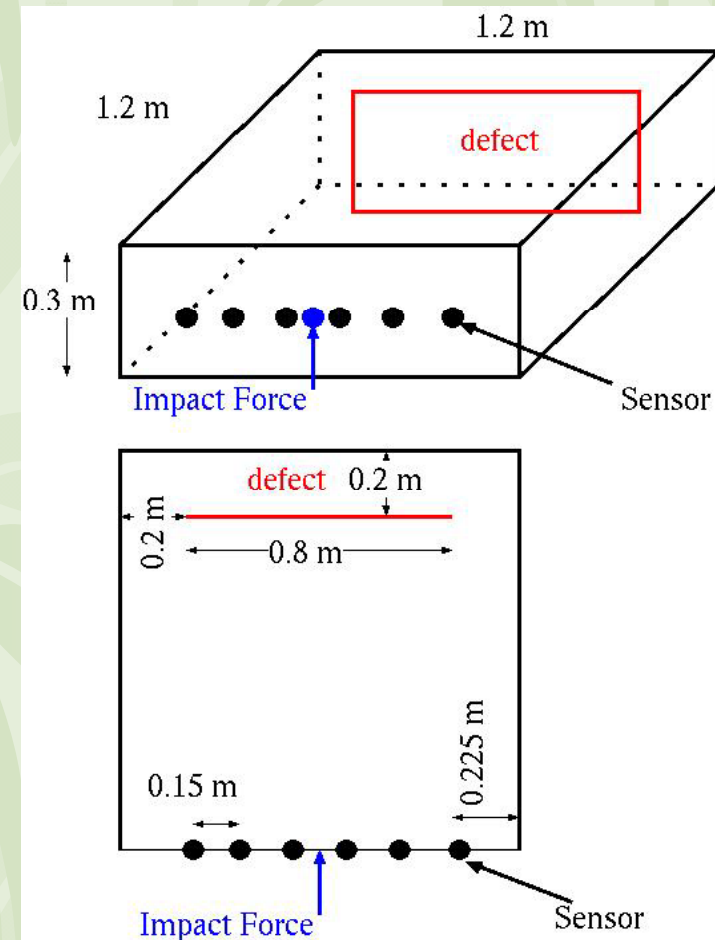
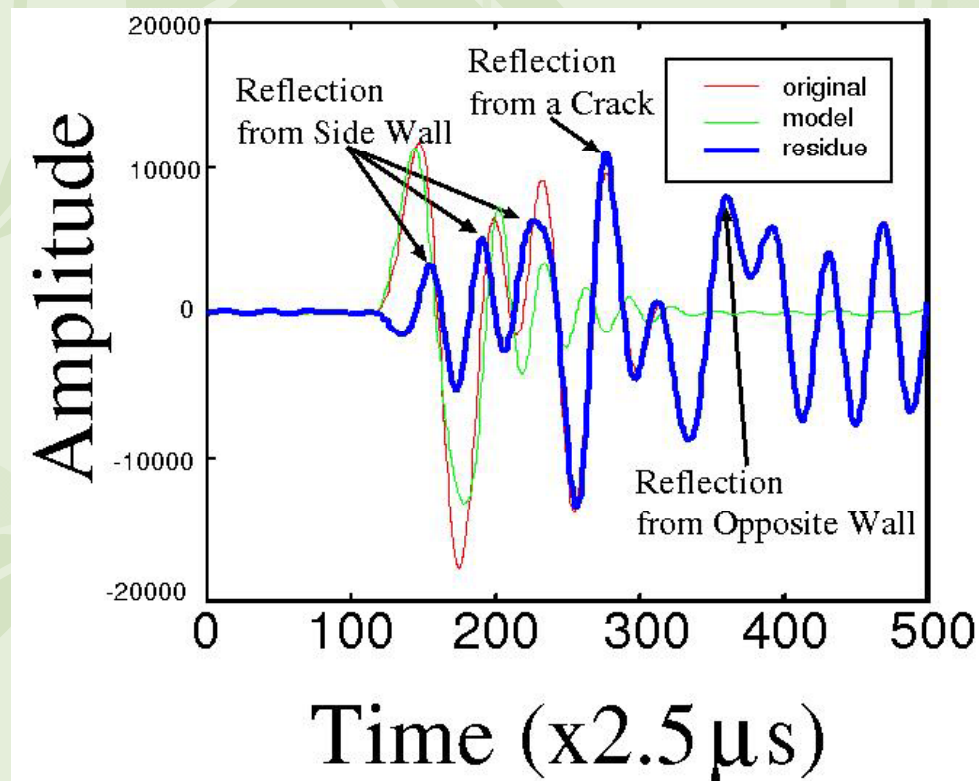
赤: センサ出力 (表面波のみと思われる)

緑: 推定した表面波の波形

青: 残差

開発した手法の問題点(2)

- ❖ 検出すべきP波に比べて不要な表面波のパワーが大きい



問題点の解決策

- ❖ 反射波が減衰する正弦波であることを利用し、ハンマ波形と減衰正弦波を表す5つのパラメータからセンサの出力波形を合成する。
- ❖ 実際のセンサ出力波形と合成した出力波形の差のパワーが一番小さくなるように5つのパラメータを調整する。
- ❖ 差のパワーが一番小さくなったときのハンマ波形の位置と大きさが、到来した反射波の位置及び大きさの推定値となる。

開発した手法の問題点(3)

❖ 5つのパラメータを調整して最適なものを得るのに時間がかかる

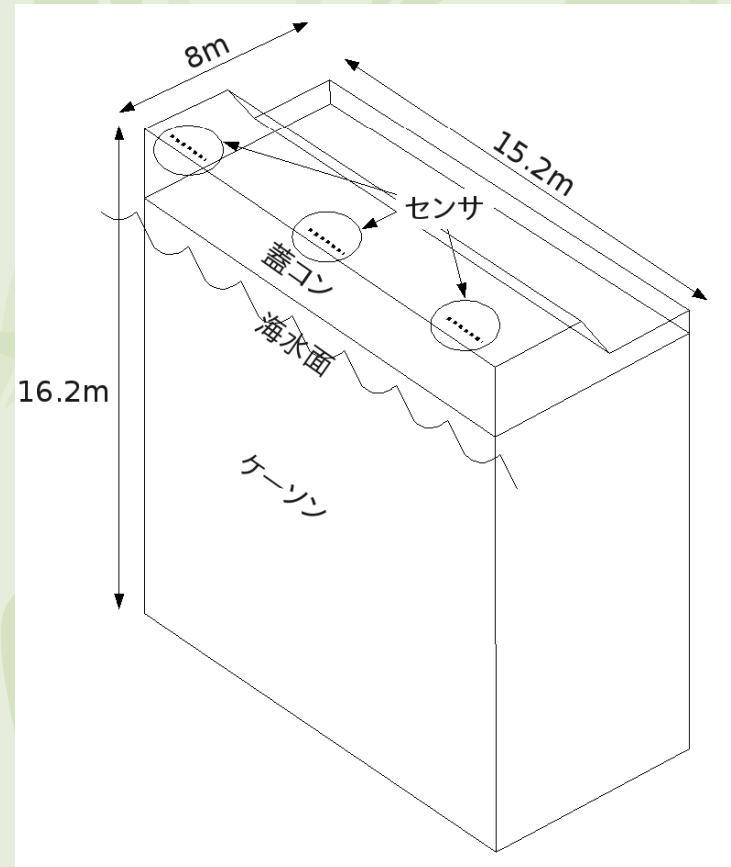
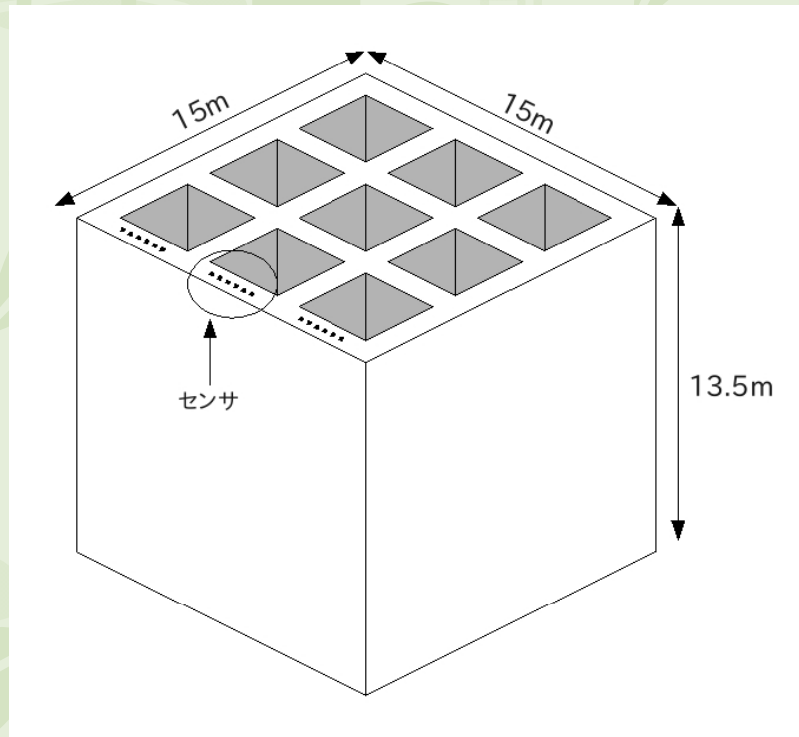
しらみつぶしなら

- ・1つの反射波を推定するのに数日
- ・2個の反射波が混じっている場合には10個のパラメータを調整するなら数週間

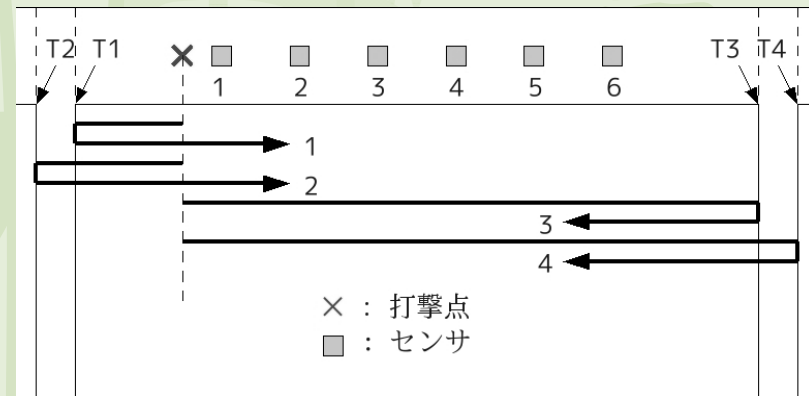
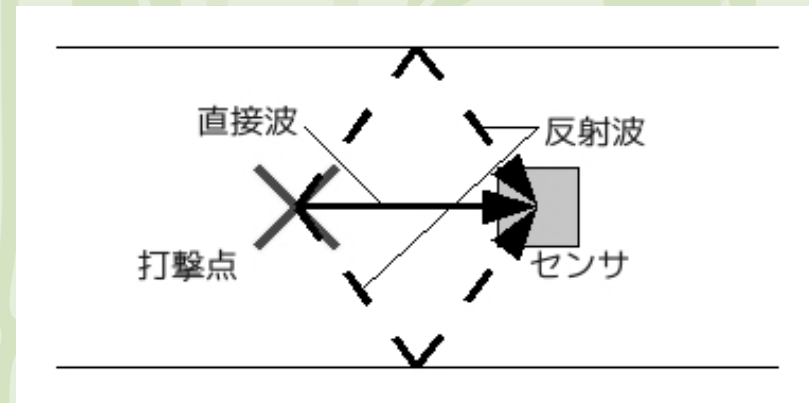
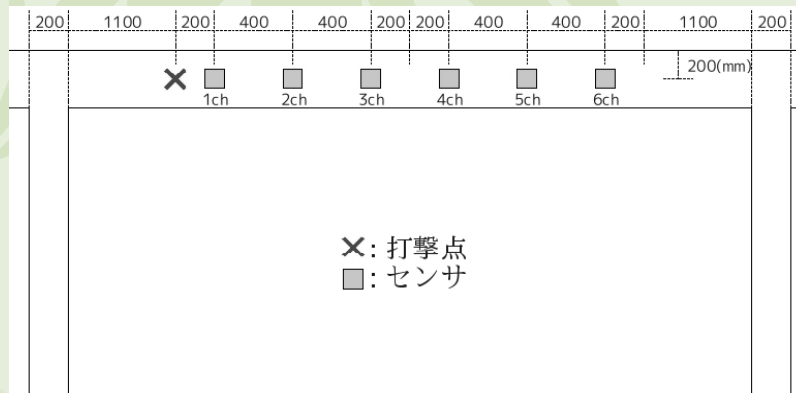
遺伝的(GA)アルゴリズムの採用

- ❖ 2個の反射波(10個のパラメータ)の推定に数時間

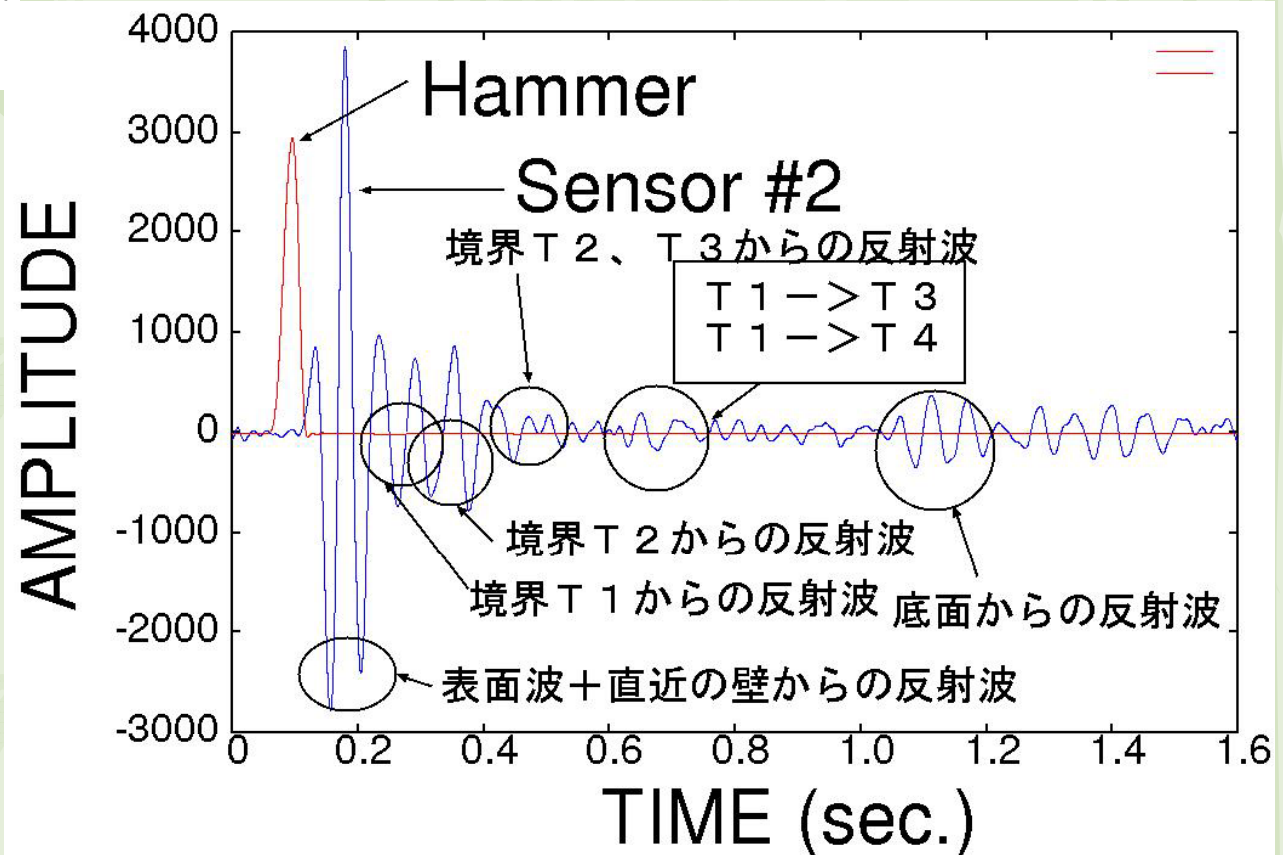
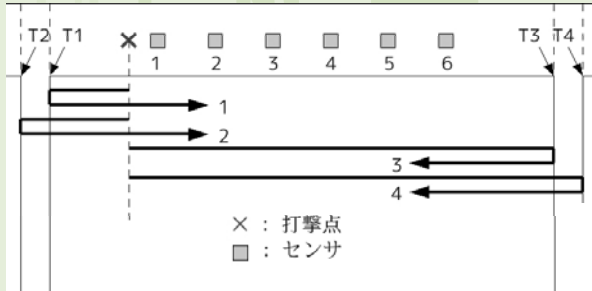
ケーソンの形状



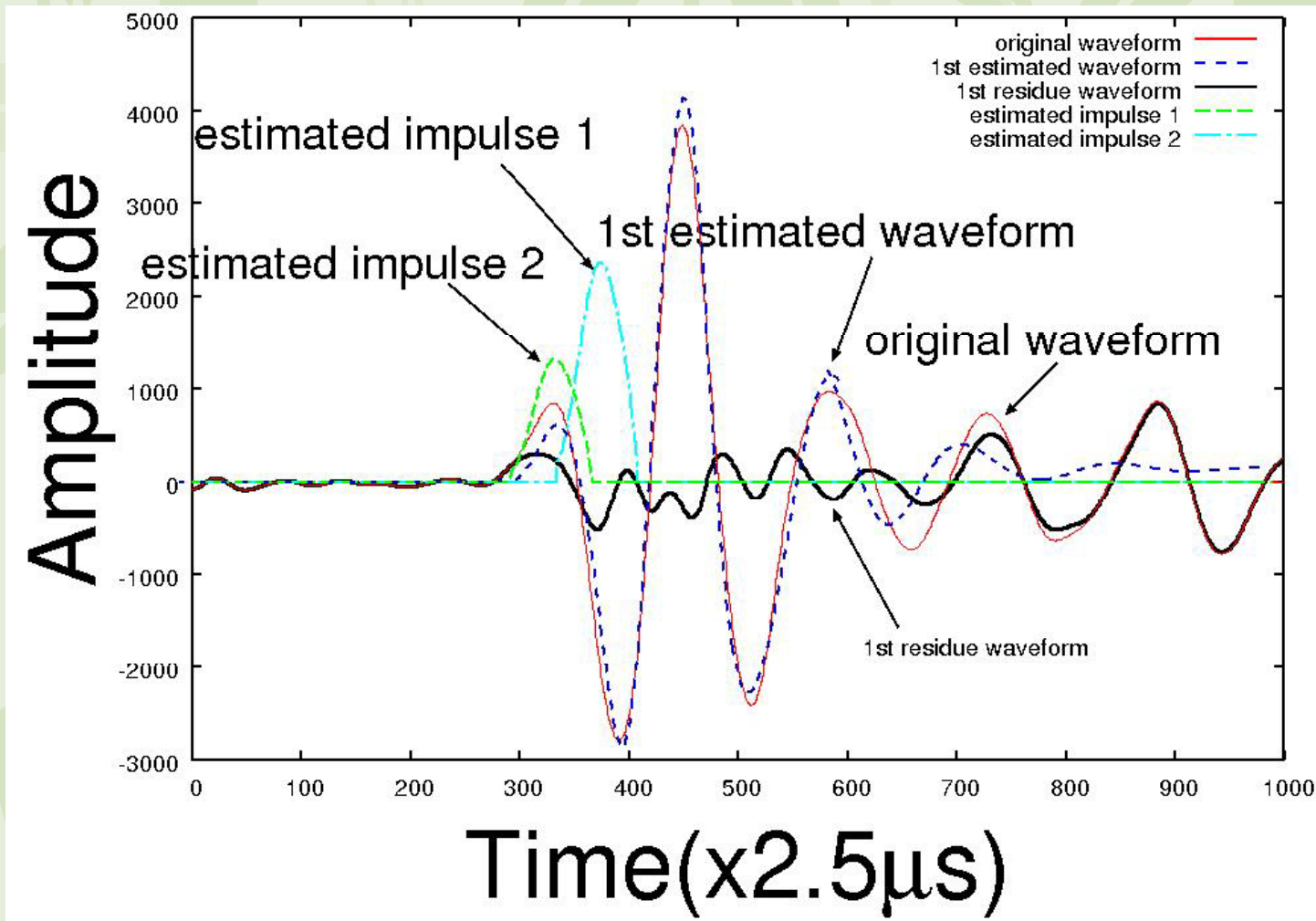
ケーソンにおける反射波



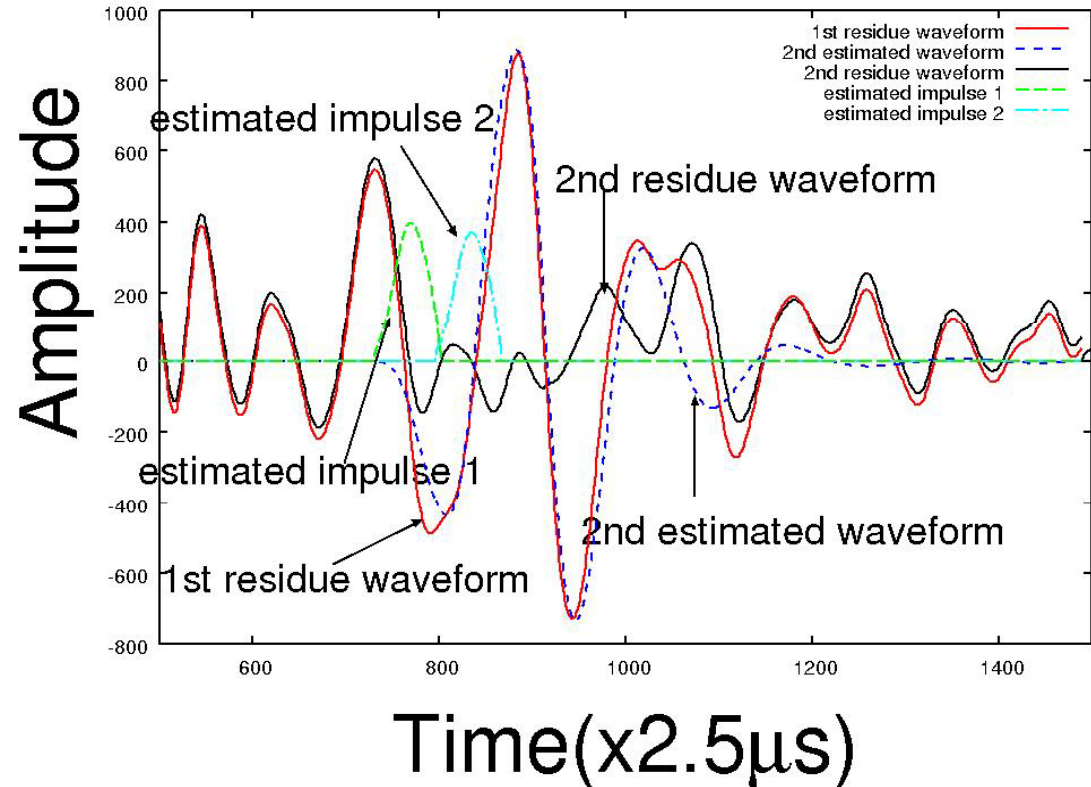
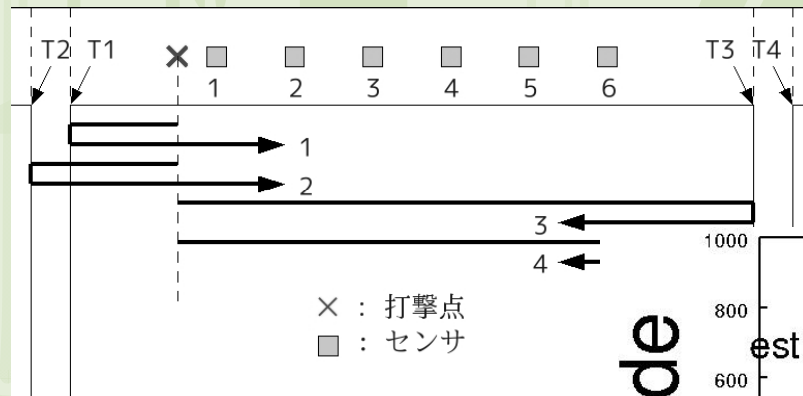
陸上のケーソンに対する打撃波形とセンサ#2出力



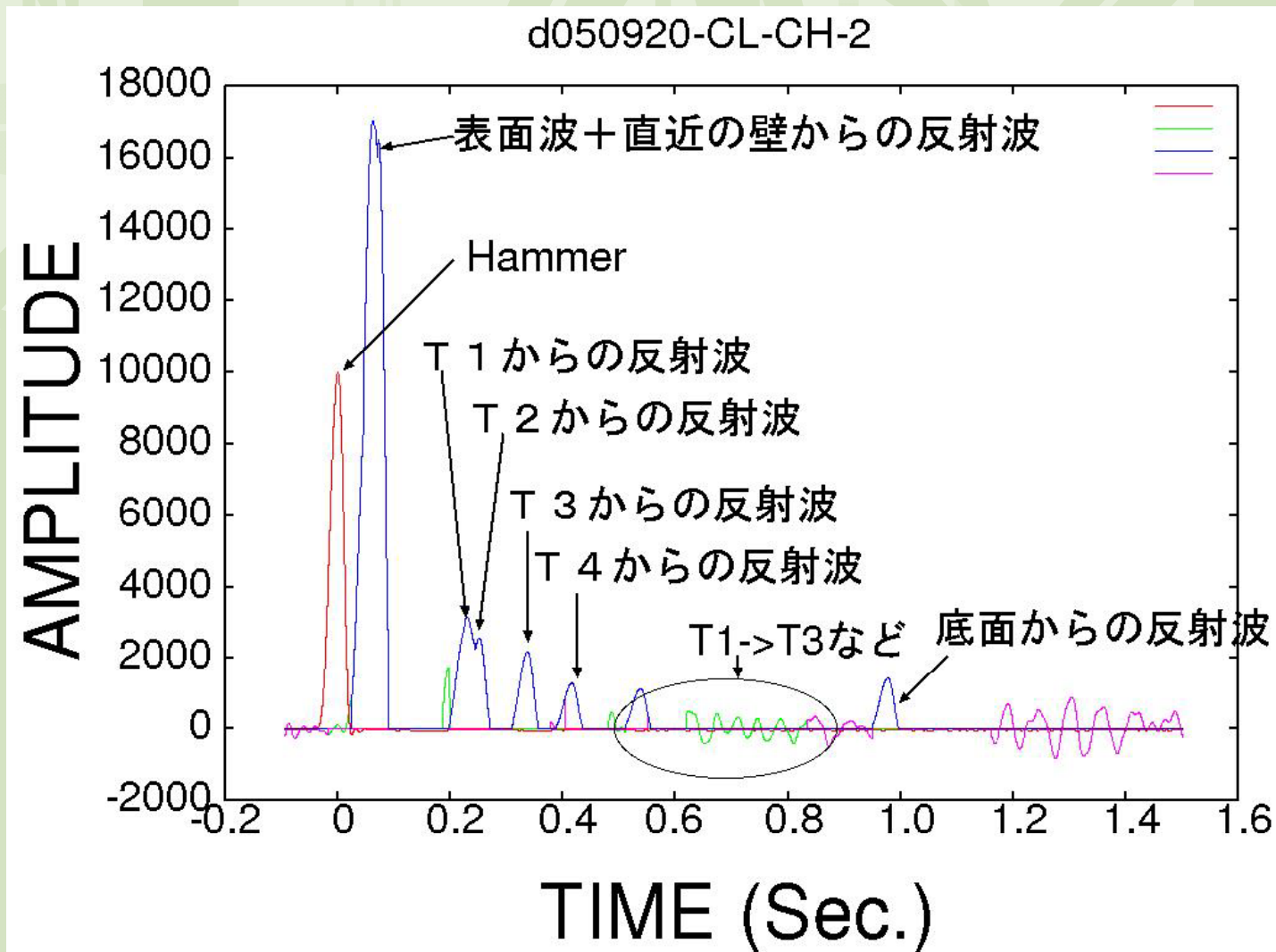
表面波の直接波と直近の壁からの 反射波の到来時刻と大きさの推定



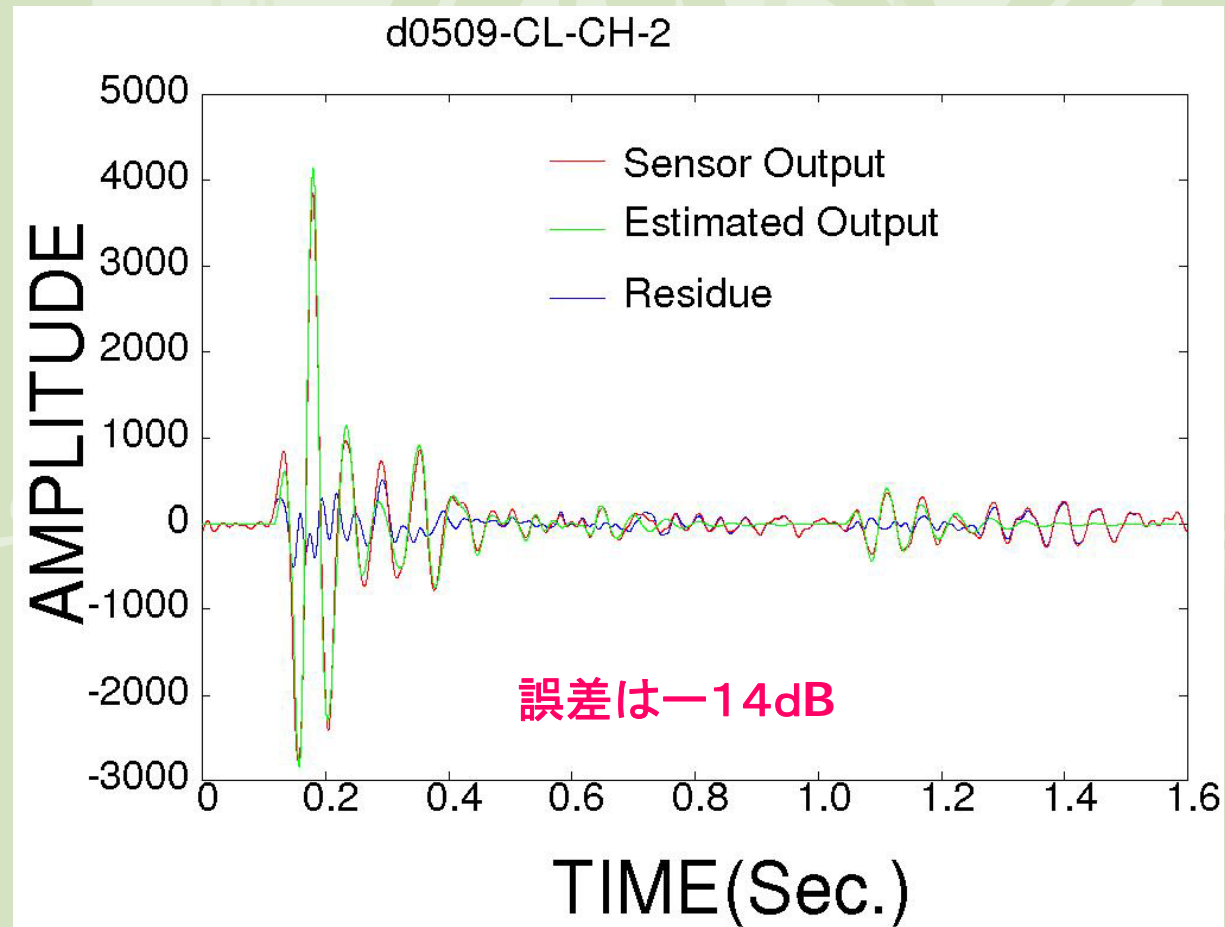
境界T1とT2からの反射波の位置と 大きさの推定



反射波の位置と大きさの推定結果

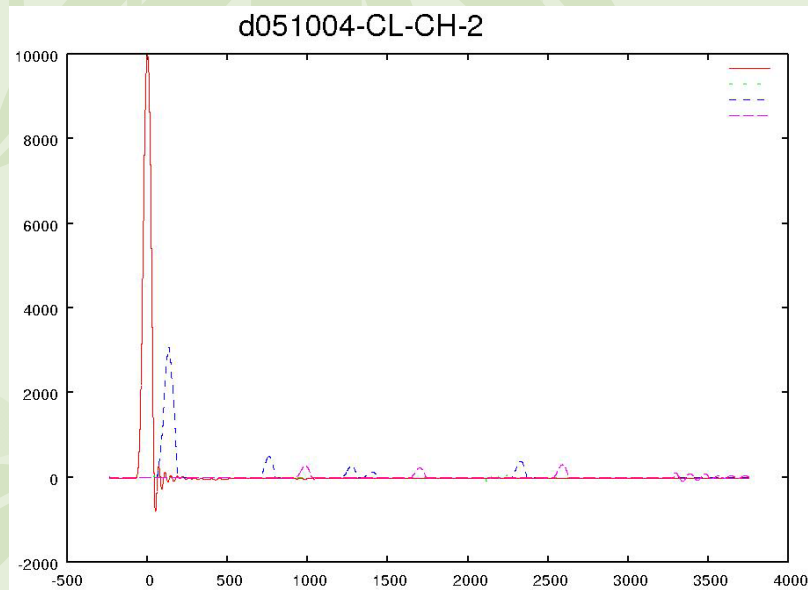


陸上のケーソンに対する実測波形、 推定波形及びその残差

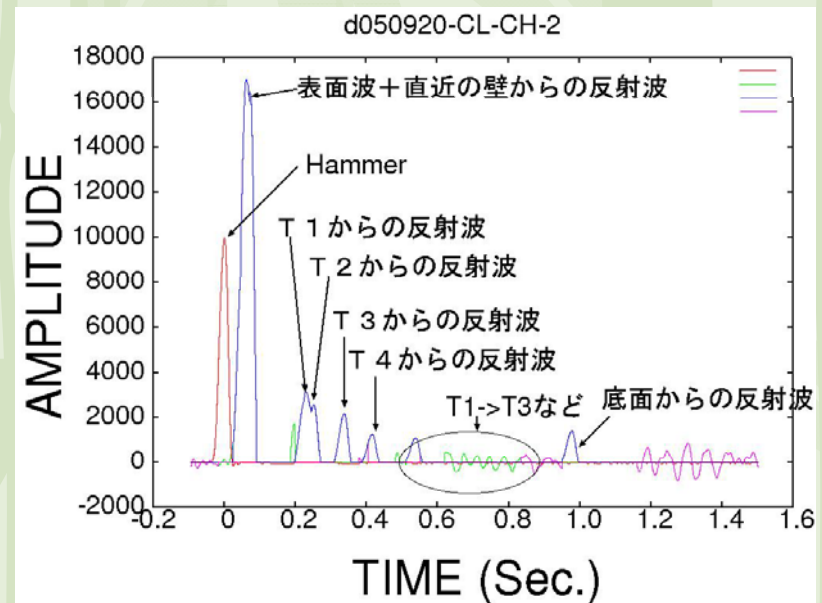


水中ケーソン仮置き場での 解析結果(地上のケーソンとの比較)

- ・水中では減衰が大きい
- ・音速は遅くなる

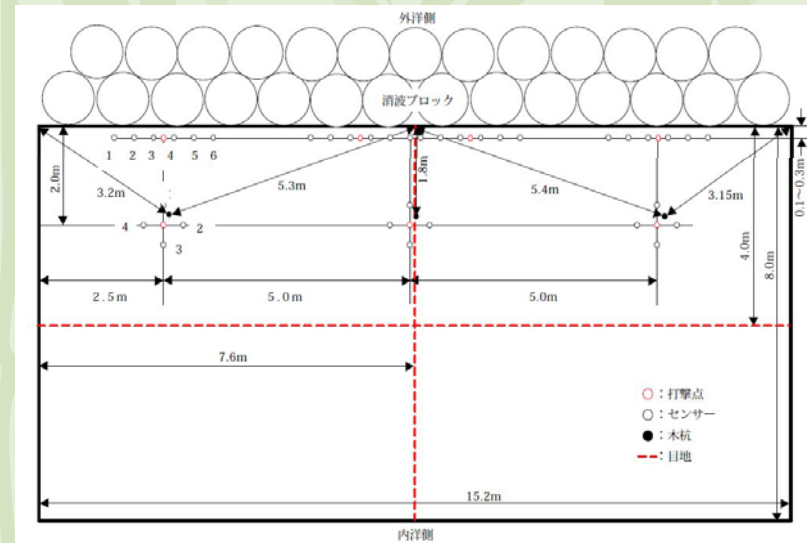
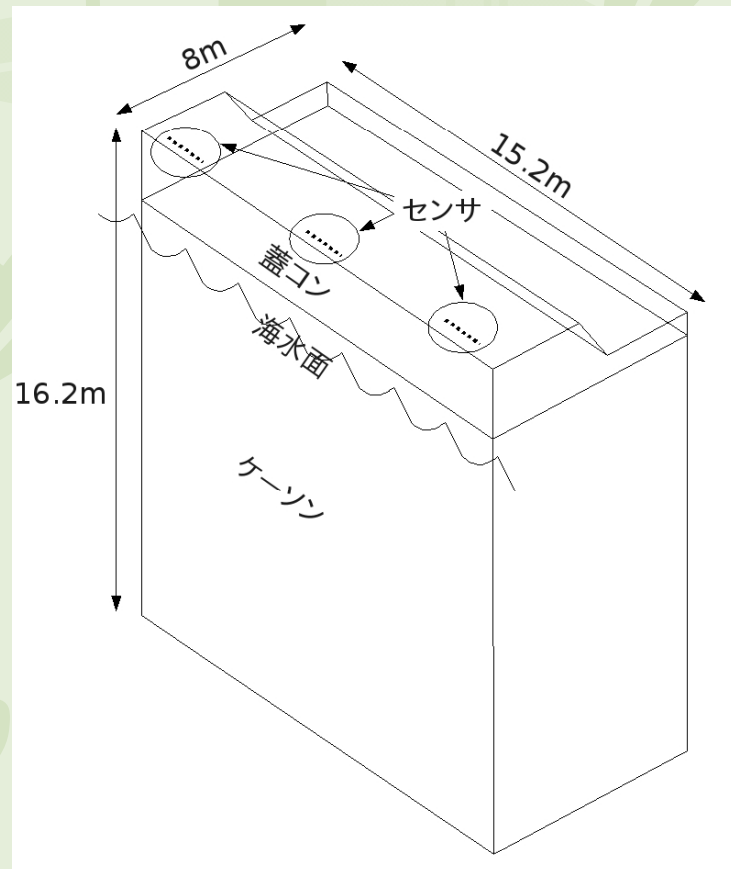


水中



地上

実用しているケーソンの形状



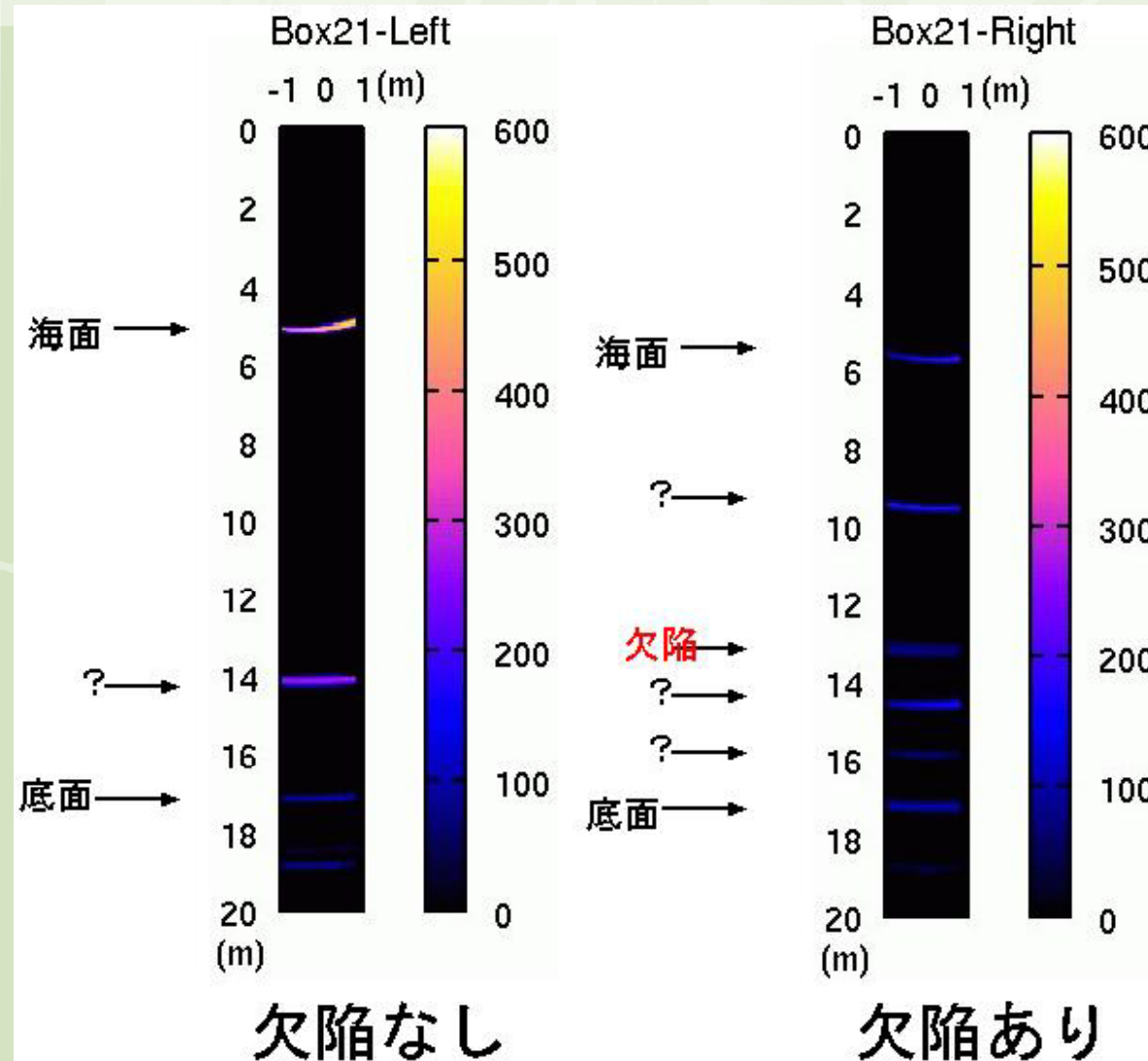
境界や目地からの反射波の到来位置は分かるので、それらを除去し、残ったピークのみを用いる。

複数のセンサによる指向性合成

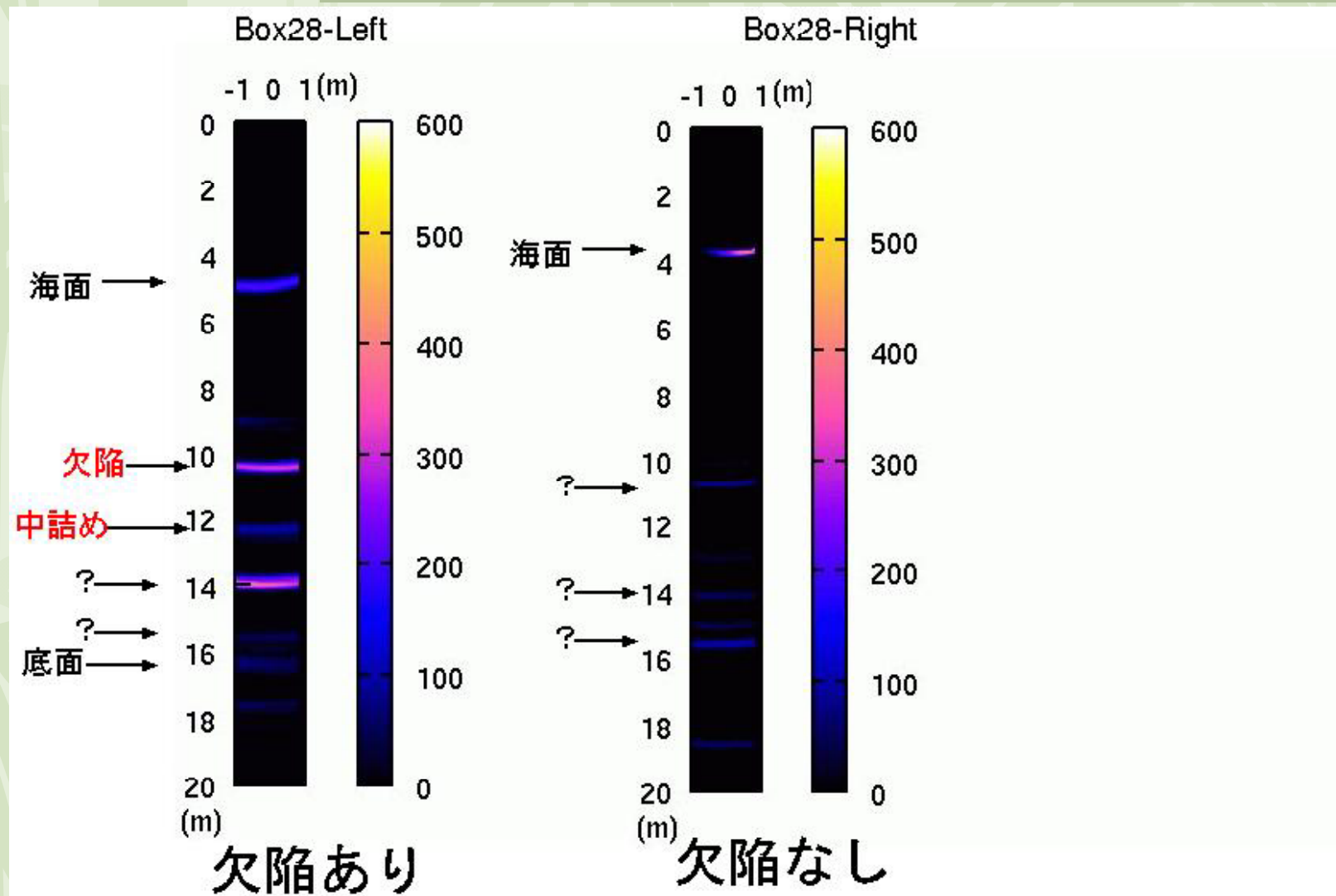
- ❖ つなぎ目や境界(横方向)からの反射波の到来位置はセンサごとに異なる
- ❖ ケーソン側壁(縦方向)からの反射波の到来位置はセンサごとにほぼ同じ

センサごとの解析結果の積の平均値は、共通の位置からの反射波(ケーソン側壁)のみが残る

実用しているケーソンの解析結果



実用しているケーソンの解析結果



実測の場合の注意点

センサ取り付け位置によってはコンクリートがえぐれているため、共振が生じ、振動が長く尾を引き、解析できない。

