

栈橋の地震被災後の 供用可能性判定手法の開発

神戸大学 長尾 毅

背景

大震災発生後には、緊急支援物資の輸送が必要である。しかし、沿岸域の係留施設も被災している可能性が高い。

1995年兵庫県南部地震発生時に、T桟橋が唯一利用可能と考えられ、大阪方面への旅客輸送に使われていた。しかし、復興が進んだ後で解体すると、地中部などで杭の座屈が生じていた。

仮に大規模な余震が生じて桟橋が崩壊すれば、大災害が生じていた可能性もある。

現状、桟橋の大地震後の供用性判定は綿密な調査判定が必要である。

→被災した係留施設を緊急支援物資輸送のために使ってよいかどうか、速やかに判断する技術の開発が必要である。

目的

既往の研究により、常時微動(H/Hスペクトルのピーク周期)から栈橋の固有周期を推定することが可能であることが報告されている。

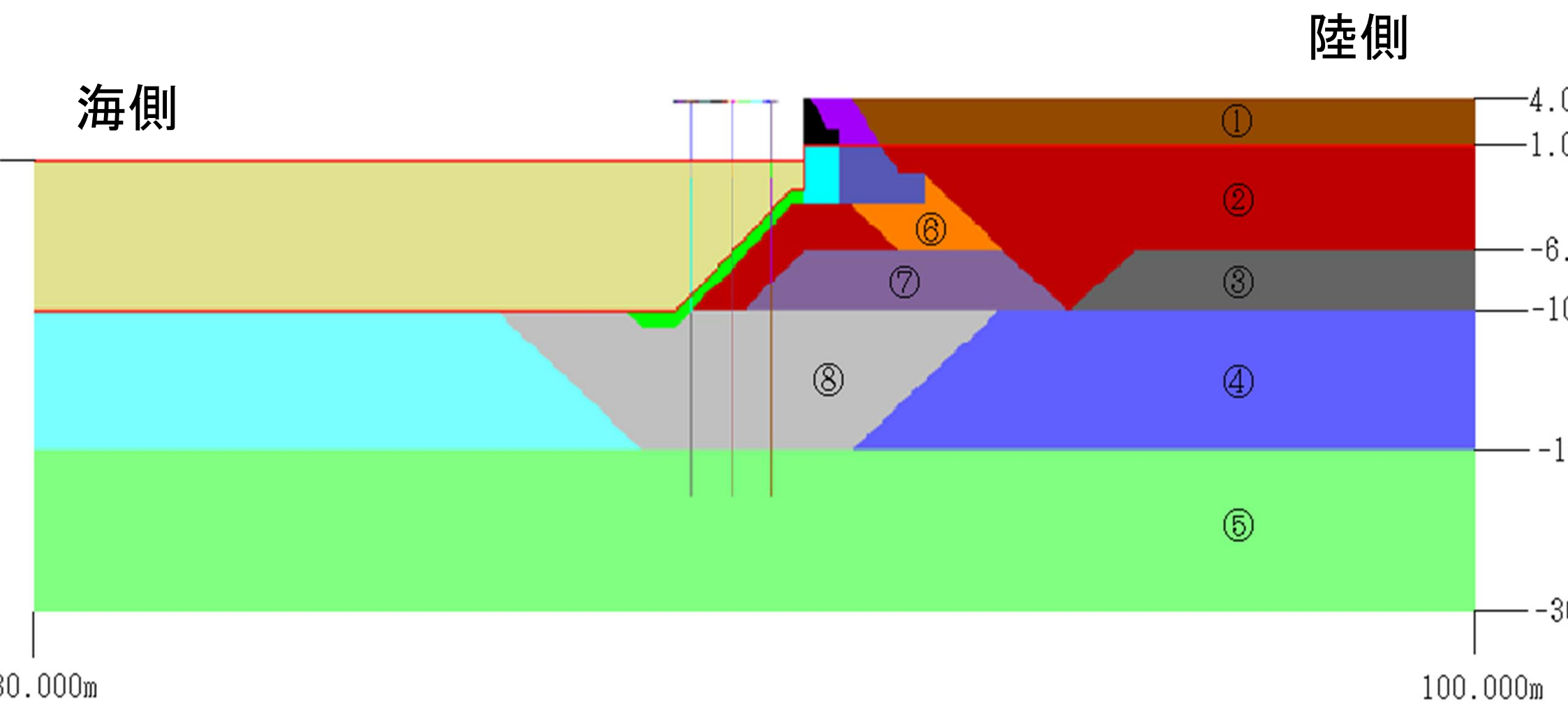
➡ 本研究では、地震前後の栈橋の固有周期変化度から損傷の程度を推定し、栈橋の供用可能性を速やかに判定する手法を開発することを目的とする。

解析条件

本研究では、K栈橋とN栈橋の2つのモデルを対象栈橋とし、地盤剛性、栈橋の杭剛性、地震動卓越周波数を変化させ、それぞれのケースについて入力地震動の最大加速度を100から600Galまで、100Gal刻みで解析を行った。

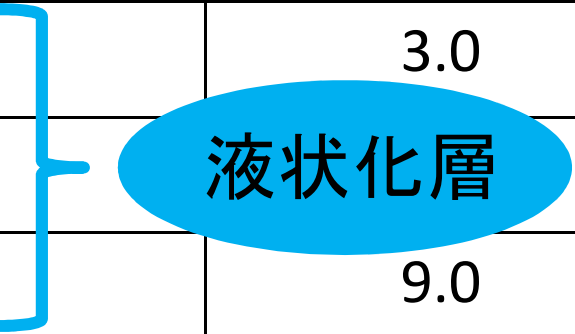
※解析には非線形有効応力解析コードFLIPを用いる

大橋



地盤条件(case1:原地盤)

地盤番号	層厚 H(m)	密度 $\rho(\text{t/m}^3)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	S波速度 $V_s(\text{m/s})$
①	3.0	1.45	30.0	43.5
②	7.0	1.45	30.0	67.9
③	4.0	1.45	30.0	89.8
④	9.0	1.45	30.0	96.6
⑤	11.0	2.0	44.0	382.2
⑥	3.0	1.84	41.2	162.7
⑦		1.84	41.2	175.1
⑧	9.0	1.84	41.2	163.8

液状化層

case2

全体的にS波速度を減少
液状化層を増加(②⑤⑥⑦⑧層)



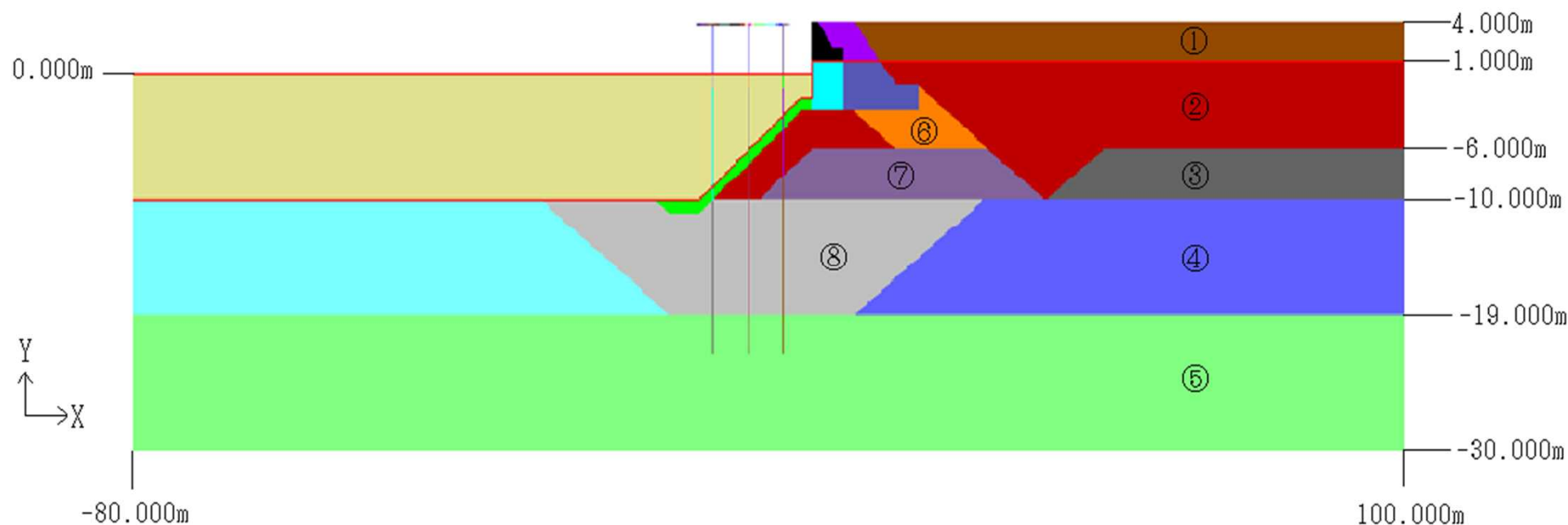
軟弱な地盤

case3

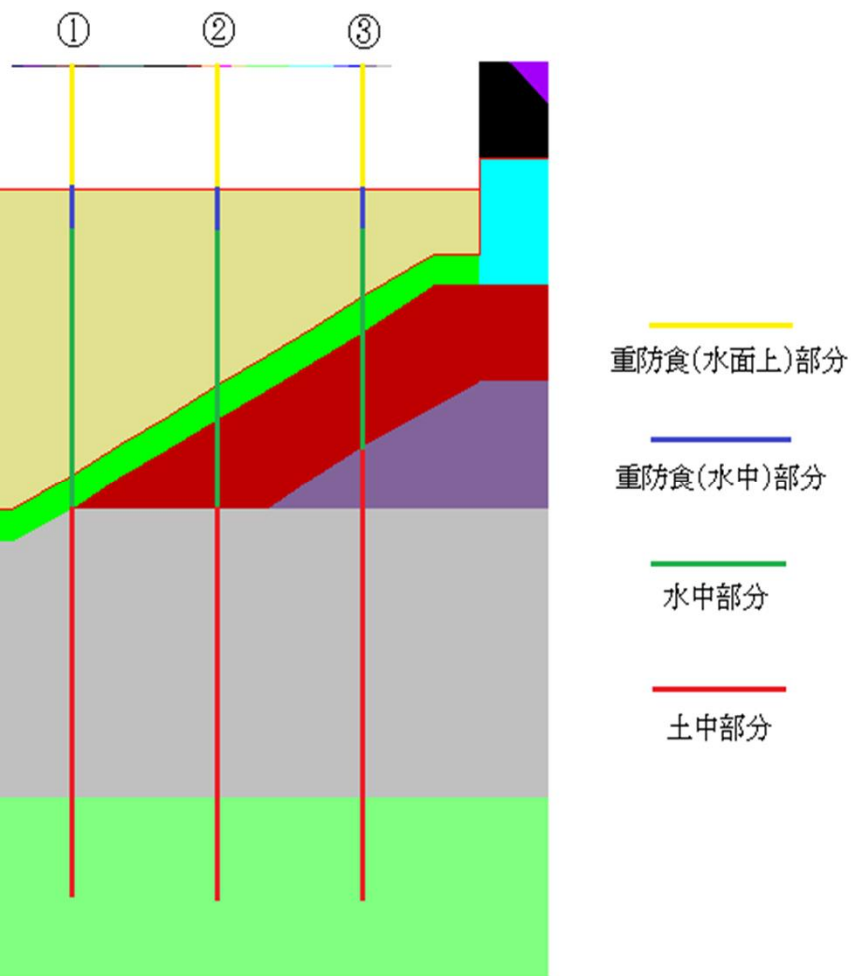
全体的にS波速度を増加
液状化層を減少(②層)



強固な地盤



杭剛性条件



杭①～③は全て同じ条件

剛性 $EI(\text{kN} \cdot \text{m}^2)$

	case1	case2	case3
重防食(水面上)部分	84490	52476	10346
重防食(水中)部分	84490	52476	10346
水中部分	71060	52476	10346
土中部分	83640	52476	10346

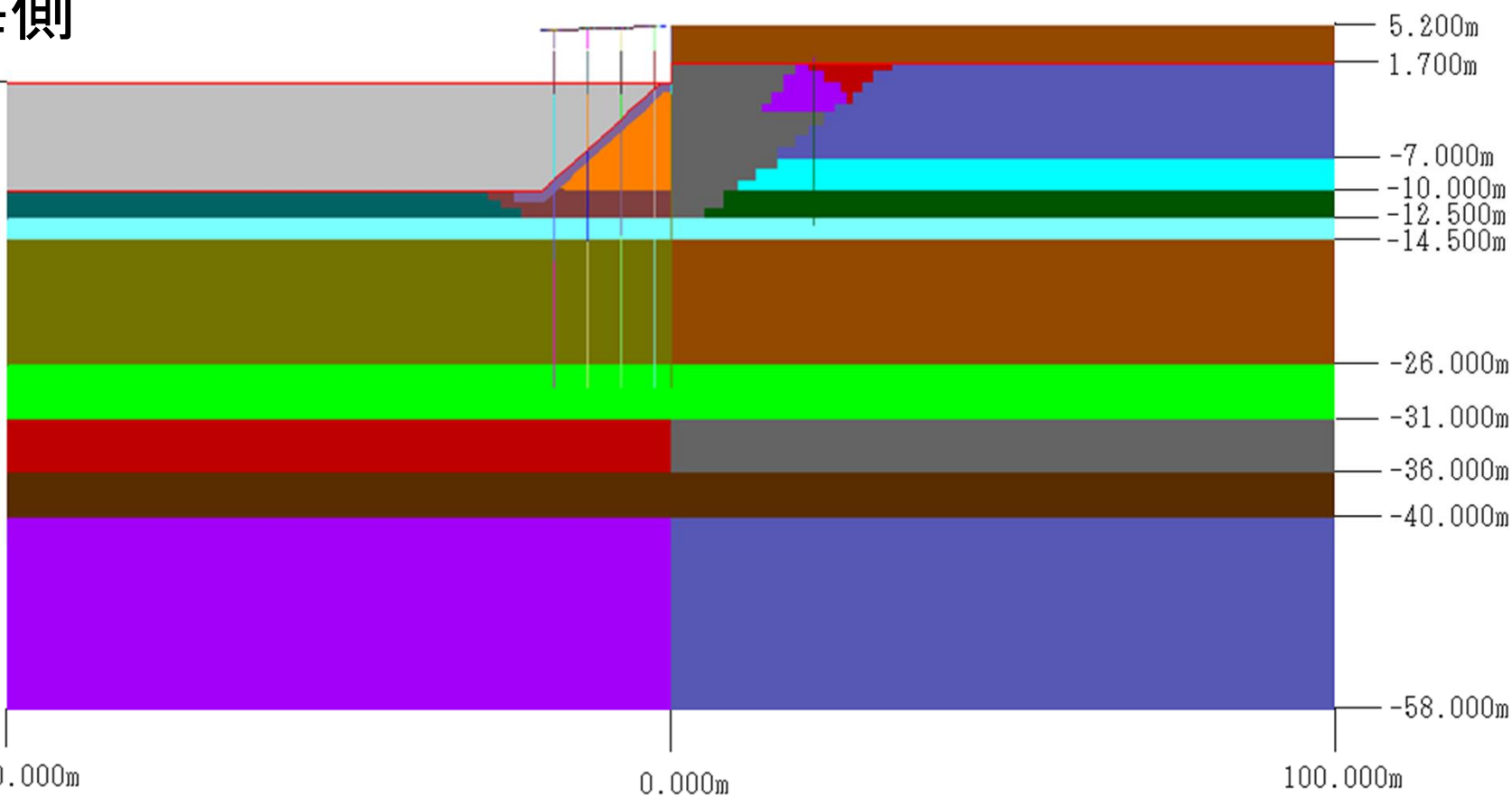
全塑性モーメント $M_p(\text{kN} \cdot \text{m})$

	case1	case2	case3
重防食(水面上)部分	2436.5	1500	3000
重防食(水中)部分	2436.5	1500	3000
水中部分	2056.5	1500	3000
土中部分	2412.5	1500	3000

橋

側

陸側



地盤条件

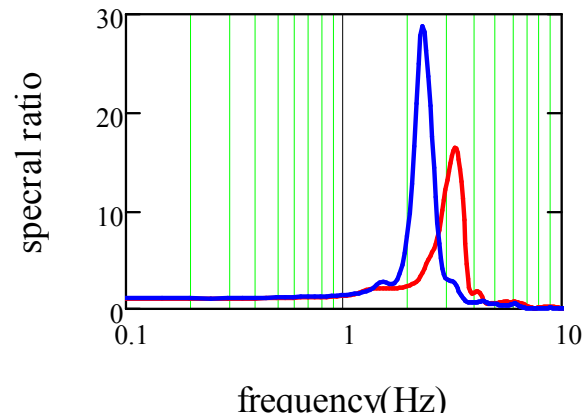
- case1: 原地盤
- case2: 軟弱な地
- case3: 強固な地

杭剛性条件

case1: 元の剛性

case2: 全体的に剛性が小さい

仮想固定点付近の地盤に対する栈橋上部工の周波数伝達関数



— :case1 — :case2

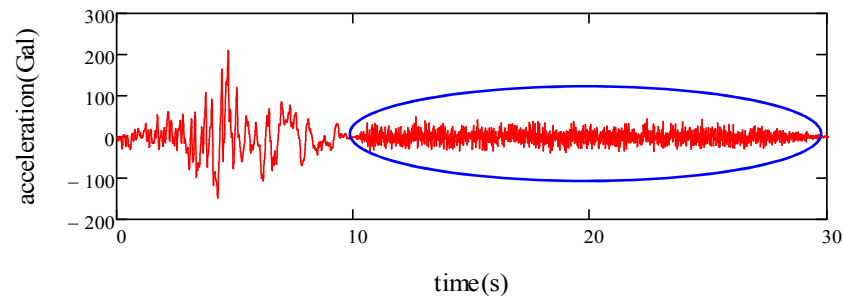
ピーク周波数

case1: 3.3Hz

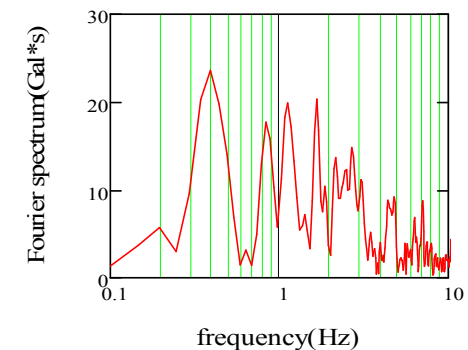
case2: 2.3Hz

震動条件

地震動は、K栈橋、N栈橋ともに1968年十勝沖地震における八戸港での観測波形(case1)を用いる
case1



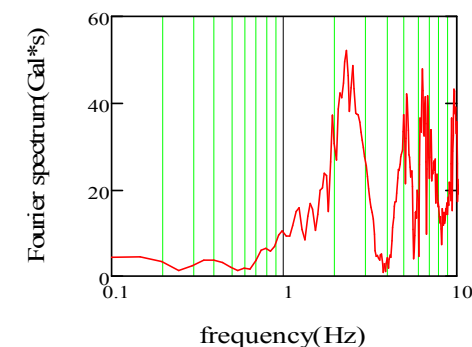
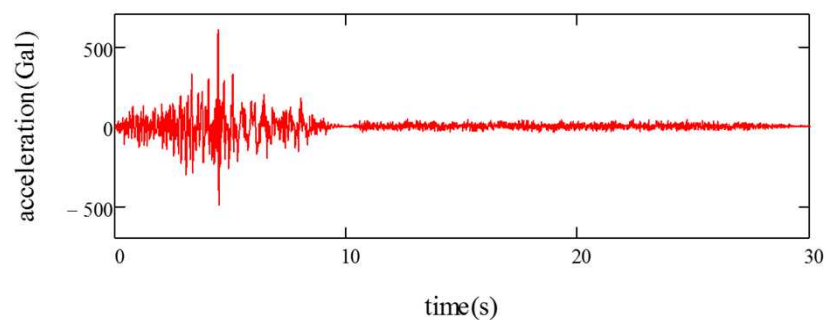
地震後の栈橋の周波数特性を把握するために、卓越周波数を持たないホワイトノイズ



卓越周波数は0.4Hz



case2(N栈橋のみ)



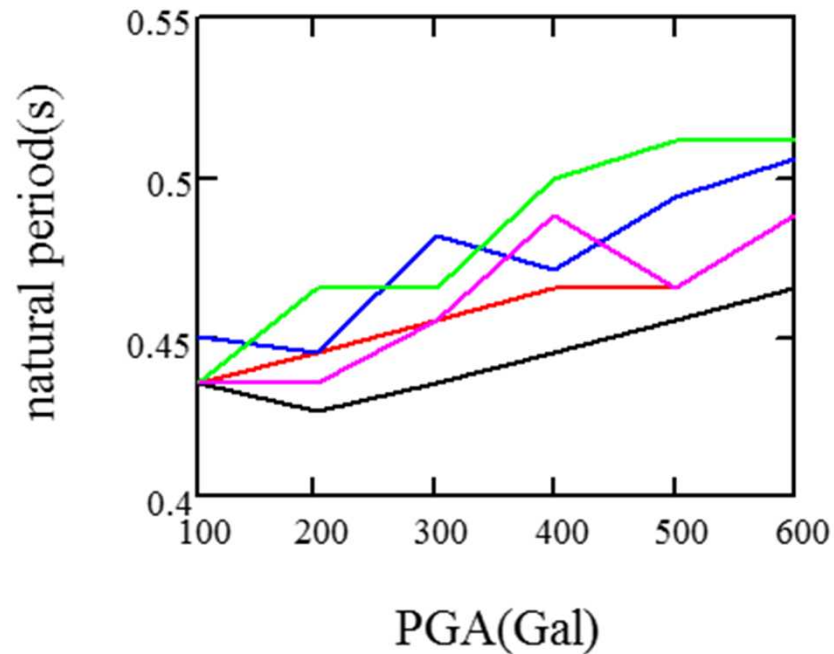
杭剛性条件case2のピーク
周波数2.3Hzと一致

杭剛性条件P	case2
地盤条件G	case3
地震動条件S	case1

➡ このような条件の場合P2G3S1と表記する

固有周期変化

N栈橋P3

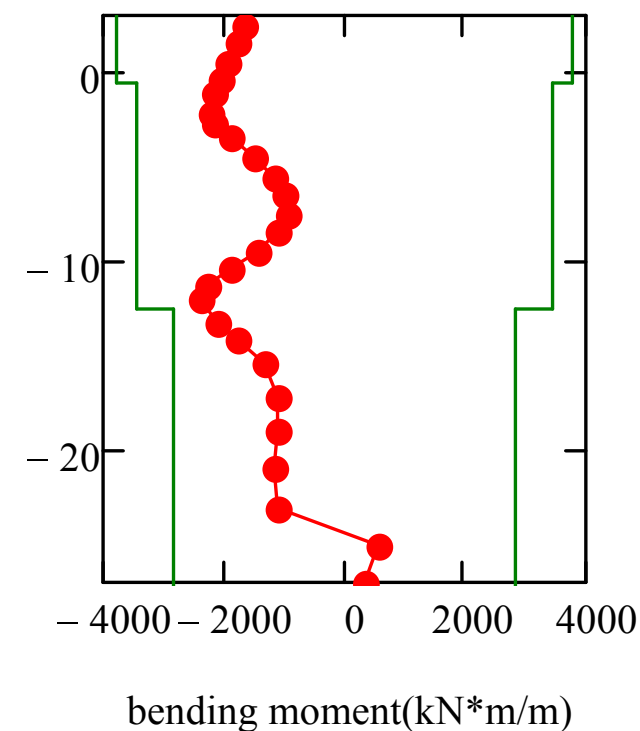


※色は条件の違いを表す

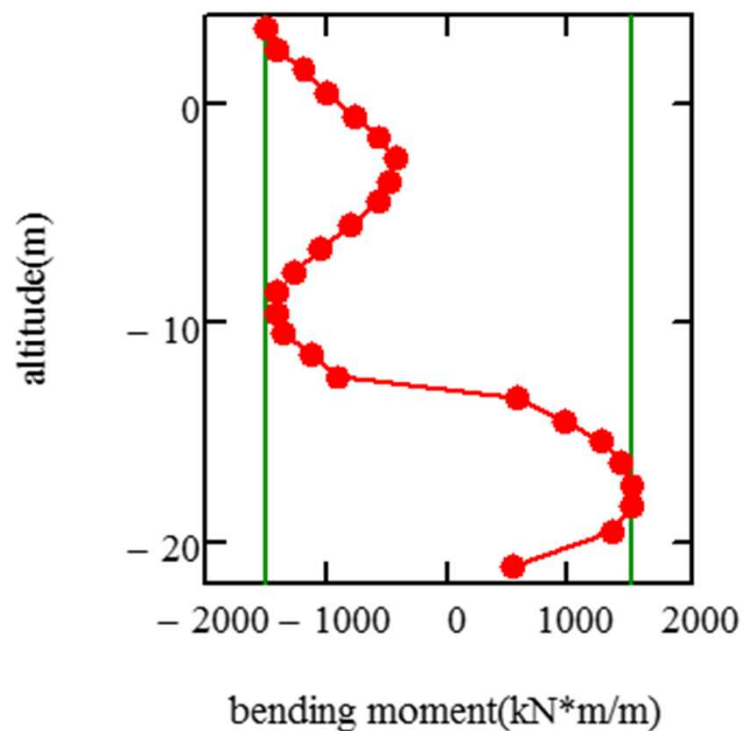
入力地震動の最大加速度を増加させると、栈橋杭の剛性が小さくなるため固有周期は長くなる傾向にある

に生じる最大曲げモーメント

N栈橋P1G1S1 杭④
加速度最大値400Gal



K栈橋P2G1S1 杭②
加速度最大値600Gal



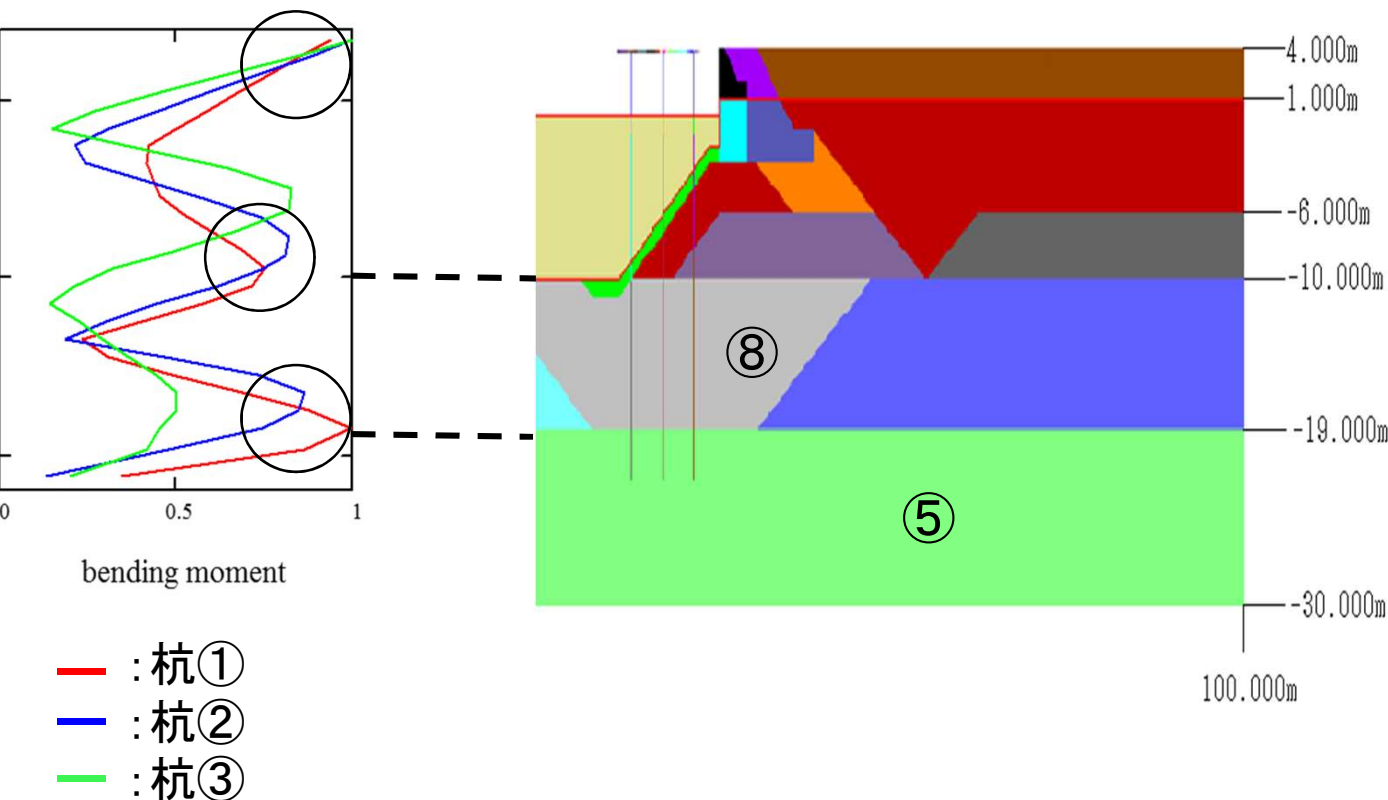
杭頭のみならず
地中部でも曲げ
モーメントが大きく
作用している

●— : 最大曲げモーメント

— : 全塑性モーメント

に生じる最大曲げモーメント(正規化)

大橋P2G1S1 加速度最大値400Gal



⑧層は液状化層であり、地震動により液状化を起すと地盤の変形量が大きくなる。

⑤層は工学的基盤であり、非常に強固な地盤であるため、変形量は小さくなる。

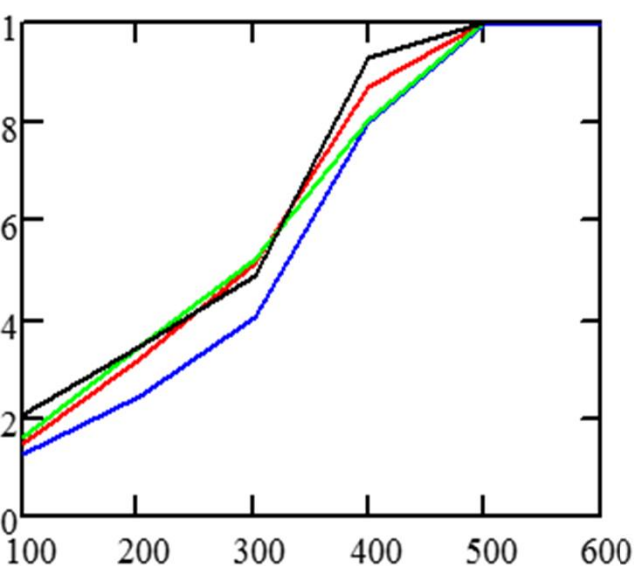


杭に作用する曲げモーメントには地盤の変形が影響している

モーメント比最大値

➡ 最大曲げモーメント/全塑性モーメント

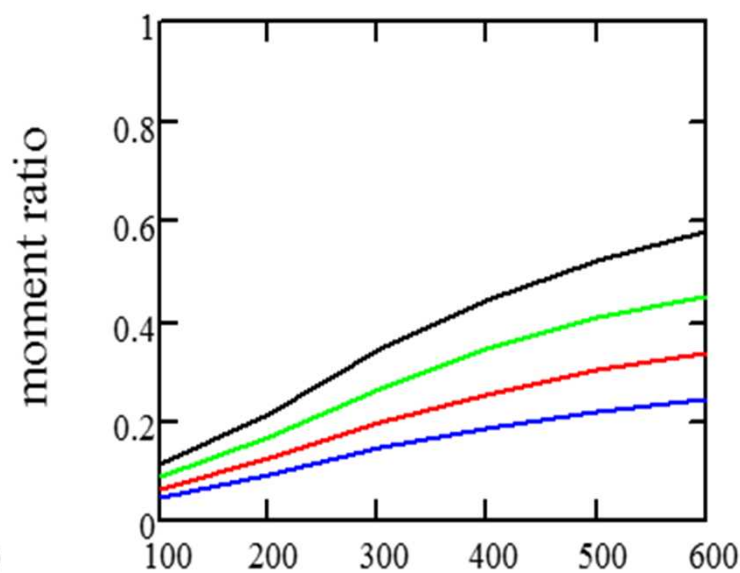
N栈橋P2G2S1



PGA(Gal)

— : 杭①
— : 杭②

N栈橋P2G2S2



PGA(Gal)

— : 杭③
— : 杭④

S2では栈橋の固有周期と地震動の卓越周期が一致しているため、一般的には共振を起し損傷の程度が大きくなる



しかしS2の条件のほうが損傷の程度は小さい。



栈橋杭の損傷に対しては地盤変形の影響が強い

損傷の位置が固有周期変化に与える影響を検討

仮想固定点の下が先行して塑性するケース

N栈橋P1G4S1・P3G4S1 K栈橋P2G3S1・P3G3S1

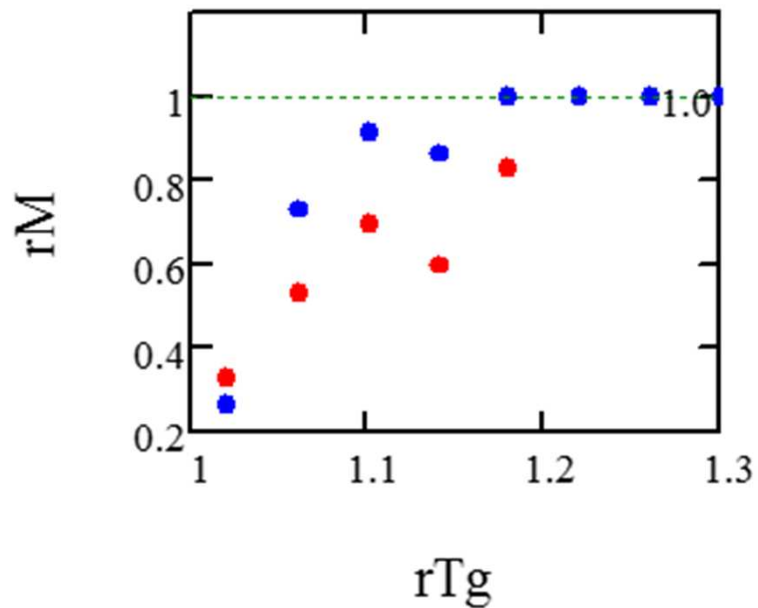
仮想固定点の上が先行して塑性するケース

N栈橋P1G1S1・P1G3S1・P3G1S1・P3G3S1 K栈橋P3G2S1

固有周期変化度と損傷の関係

● : 固有周期変化度

● : 各ケースのモーメント比最大値の平均



● : 仮想固定点下先行塑性

● : 仮想固定点上先行塑性

仮想固定点下では大きく損傷しても固有周期変化は小さいのに対して、仮想固定点上では小さい損傷で固有周期が大きく変化している。



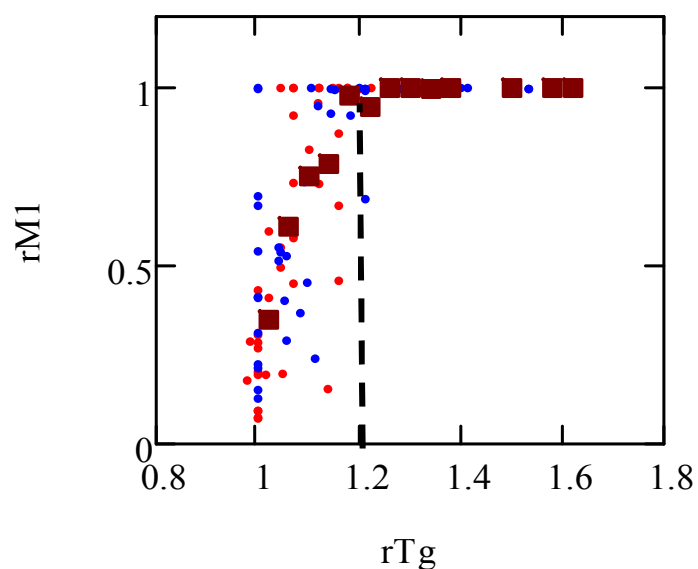
仮想固定点の上で塑性化すると、栈橋固有周期変化から杭の損傷を検出しやすい。

固有周期変化度と仮想固定点上での損傷の関係

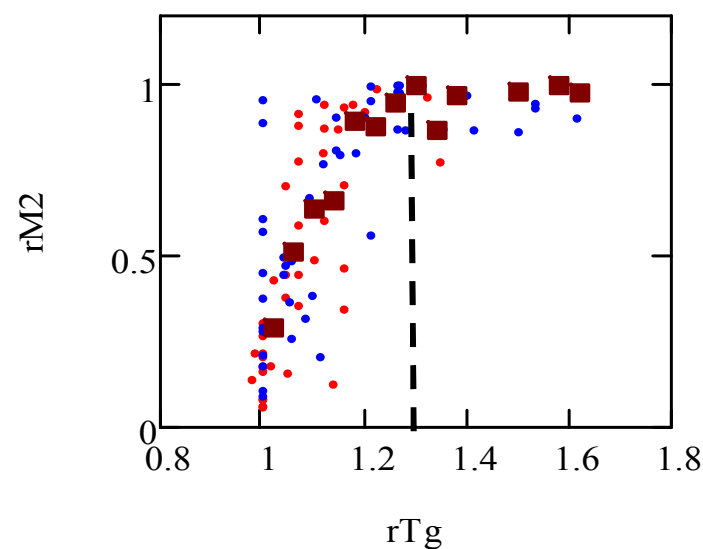
rTg : 固有周期変化度

$rM1$: 全杭のモーメント比最大値

$rM2$: 各杭のモーメント比最大値の平均



固有周期が初期値の1.2倍
杭の何れかの箇所が全塑性モーメントに達する



固有周期が初期値の1.3倍
全ての杭が全塑性モーメントに達する

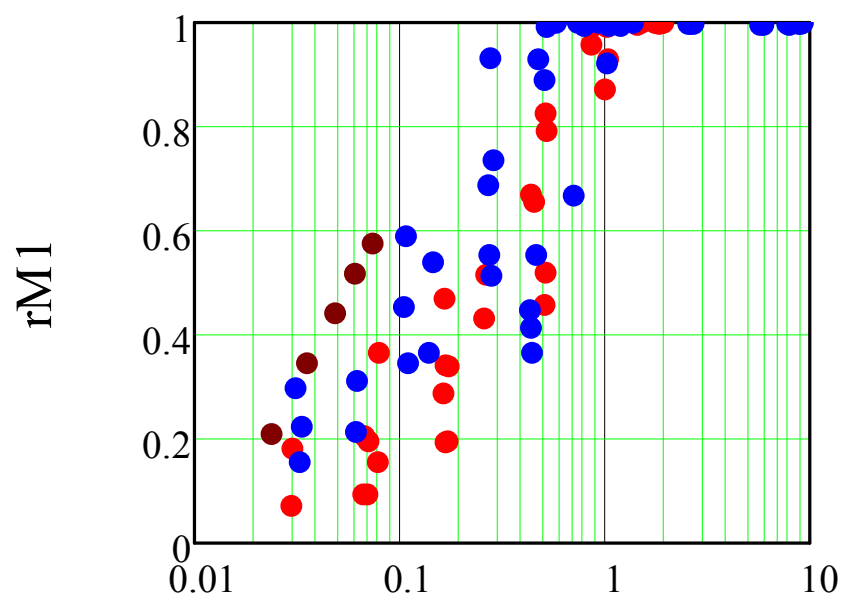
● : K栈橋
● : N栈橋
■ : 平均値

本研究では固有周期変化に着目してきたが、実際には地震後に固有周期に比べ残留変位の方が容易に測定することができる



残留変位から損傷の程度を評価できるのかを検討

栈橋の水平残留変位と損傷の関係



residual displacement(m)

- : K栈橋
- : N栈橋
- : N栈橋(P2G2S2)

栈橋固有周期と地震動卓越周期が一致しているケース(P2G2S2)では, 他ケースと比較して変位に対する損傷の程度が大きい

地盤変形と共振が杭の損傷に影響を及ぼすため, 残留変位と損傷の関係にはばらつきが大きい

残留変位から損傷の程度を評価するよりも固有周期変化から評価するほうが適している

結論

地震動の加速度最大値を増加させると、固有周期は長くなる傾向にある

栈橋杭の損傷に対しては、地盤変形の影響が強い

仮想固定点上で塑性化すると、固有周期変化が大きく、杭の損傷を評価しやすい

固有周期が初期値の1.2倍程度となると、杭の何れかの箇所破壊し、1.3倍程度となると、全ての杭が平均的に破壊する

ご清聴ありがとうございました.