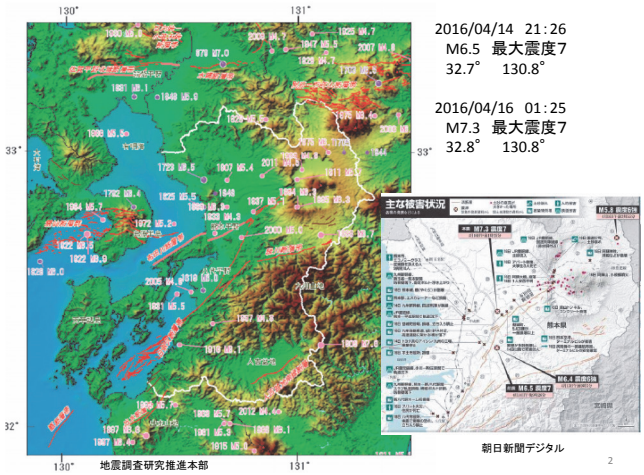
熊本地震調査結果と今後の課題
2016.7.17

神戸大学　都市安全研究センター
長尾　毅

最近の更新履歴
2016.7.17　余震観測記録をもとにしたサイト増幅特性暫定版等を追加
2016.7.6　常時微動H/Vスペクトルピーク周波数コンター図暫定版等を追加

本資料は下記よりダウンロード可能です
http://www2.kobe-u.ac.jp/~nagaotak/kumamotojisinn.html
本資料は速報であり，今後の検討により異なった見解が得られる可能性があることをご承知ください



第一次被害調査行程

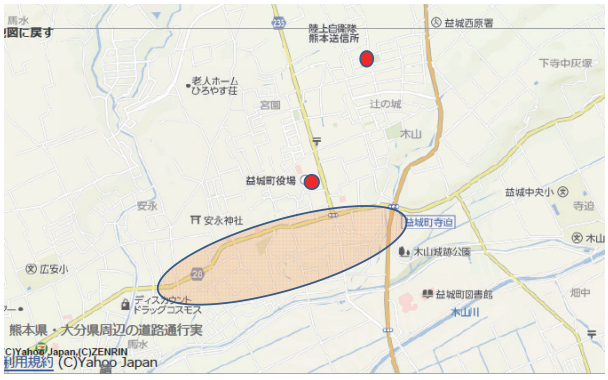
- 4/15　新神戸⇒博多（新幹線），以下レンタカーで移動，益城町にて被災調査
- 4/16　熊本市，益城町で被災調査
- 4/17　熊本市，御船町，益城町にて被災調査
  神戸新聞社記者が調査に同行
- 4/18　益城町，阿蘇市において被災調査，その後博多駅⇒新神戸．
- ㈱ニュージェック・伊藤佳洋氏と調査を実施

調査範囲

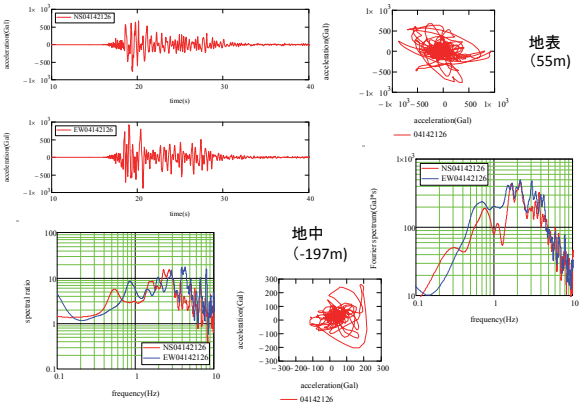
被災調査の観点

- M6.5で最大震度7がなぜ起きたか？震度7は益城町全体の震度なのか？
- 地盤条件と構造物被害の相関調査のため，常時微動観測を実施

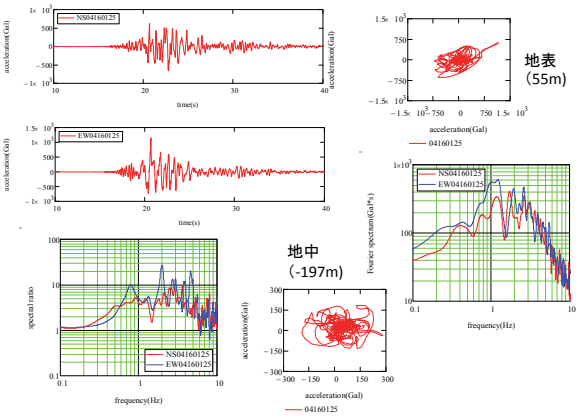
地震計の場所と大被害集中領域



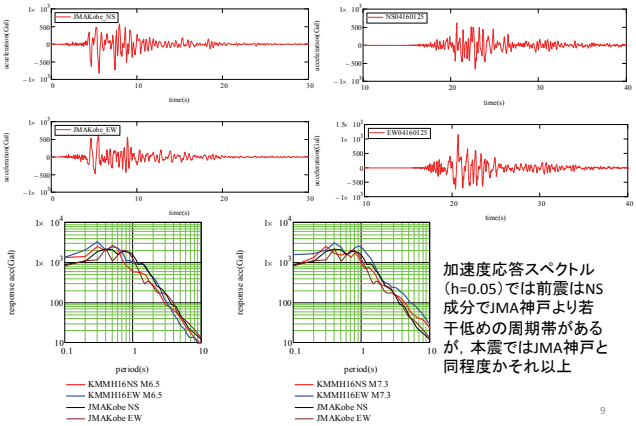
KMMH16（KiK-net益城）の地震記録（M6.5）



KMMH16（KiK-net益城）の地震記録（M7.3）

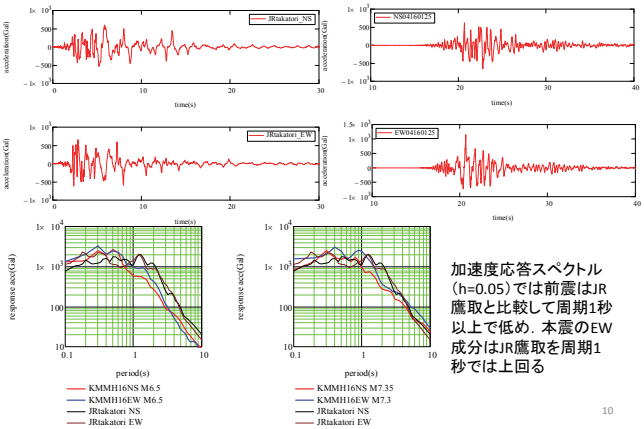


1995兵庫県南部地震の地震記録（JMA神戸）との比較



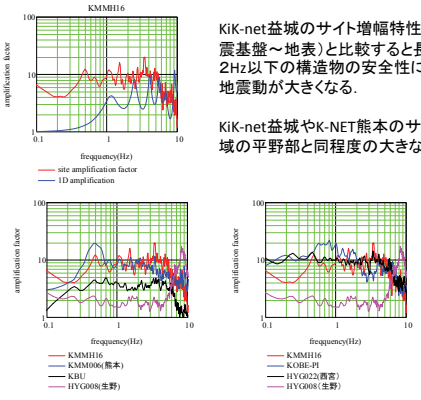
加速度応答スペクトル（h=0.05）では前震はNS成分でJMA神戸より若干低めの周期帯があるが，本震ではJMA神戸と同程度かそれ以上

1995兵庫県南部地震の地震記録（JR鷹取）との比較



加速度応答スペクトル（h=0.05）では前震はJR鷹取と比較して周期1秒以上で低め．本震のEW成分はJR鷹取を周期1秒では上回る

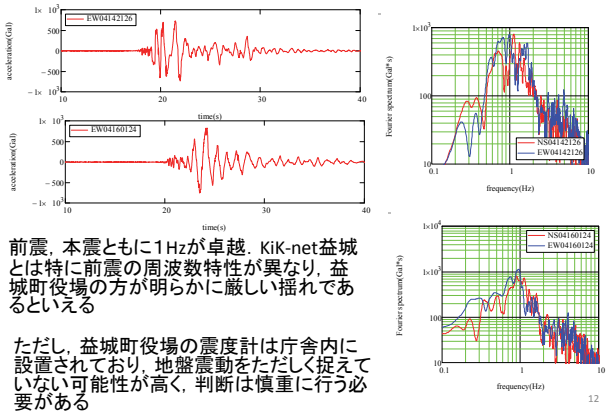
KiK-net益城のサイト増幅特性と他地点の比較



KiK-net益城のサイト増幅特性は1次元増幅倍率（地震基盤～地表）と比較すると長周期側で倍率が高く，2Hz以下の構造物の安全性に影響の強い周波数帯で地震動が大きくなる．

KiK-net益城やK-NET熊本のサイト増幅特性は阪神地域の平野部と同程度の大きな増幅倍率である．

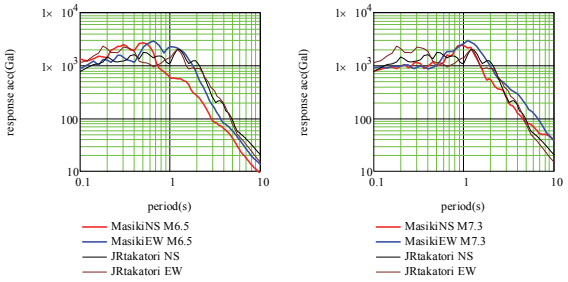
益城町役場の地震波形



前震，本震ともに1Hzが卓越．KiK-net益城とは特に前震の周波数特性が異なり，益城町役場の方が明らかに厳しい揺れであるといえる

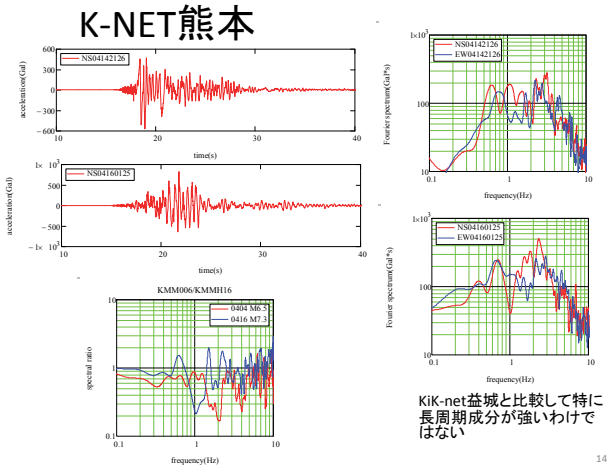
ただし，益城町役場の震度計は庁舎内に設置されており，地盤震動をただしく捉えていない可能性が高く，判断は慎重に行う必要がある

1995兵庫県南部地震の地震記録（JR鷹取）との比較



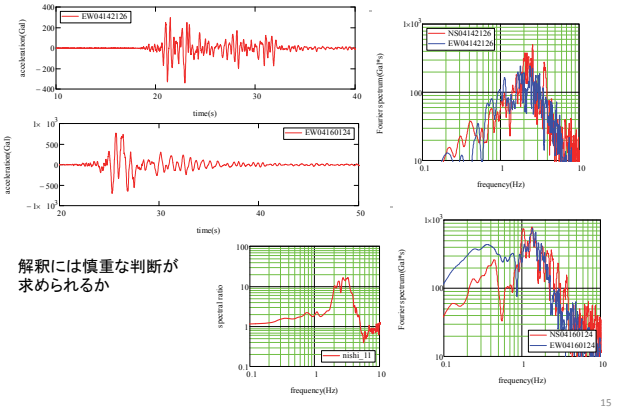
- 前震EW成分は周期0.5-1秒でJR鷹取を上回る
- 本震EW成分は周期1-2秒でJR鷹取をやや上回る

K-NET熊本



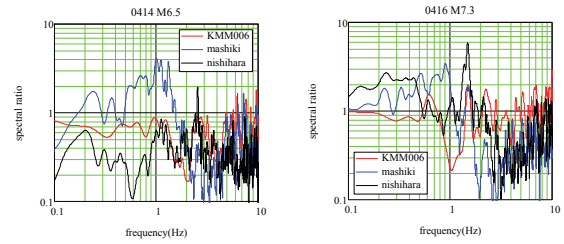
KiK-net益城と比較して特に長周期成分が強いわけではない

長周期地震動が観測された西原村役場の地震波形



解釈には慎重な判断が求められるか

各地点のスペクトル比（x/KMMH16）



- 西原村本震はKiK-net益城と同等以上のスペクトル

被害状況（熊本市）

被害状況（御船町）

被害状況（阿蘇市）

橋梁の被害状況（益城町）橋脚，橋台，取り付け部

被害状況（益城町）

大被害住宅の特徴①古い住宅

大被害住宅の特徴②盛土上の住宅

大被害住宅の特徴③軟弱地盤上の住宅

繰り返し地震作用による住宅被害の進行4/15⇒4/16

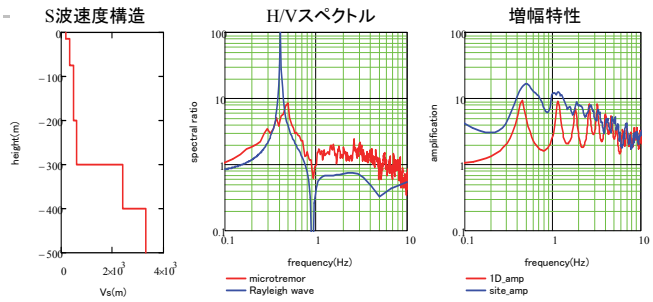
繰り返し地震作用による住宅被害の進行4/15⇒4/16

繰り返し地震作用による住宅被害の進行4/15⇒4/16

耐震補強にも限界はないだろうか？

筋交いの多い住宅，新築中の住宅も全壊事例がある

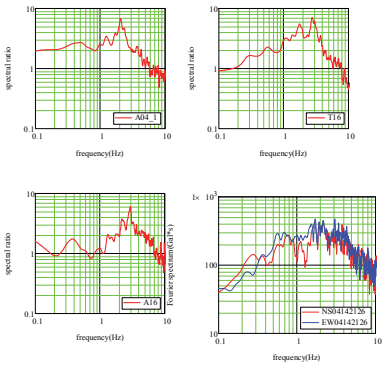
常時微動H/Vスペクトルの活用方法（AICH04の例，熊本ではありません）



常時微動H/Vスペクトル，レイリー波H/Vスペクトル，1次元周波数伝達関数，サイト増幅特性の全てにおいて0.4～0.5Hz程度にピーク

常時微動H/Vスペクトルの一次ピーク周波数（ピークのうち最も低い周波数）が地震動の増幅の一次の周波数に対応し，この周波数が低いほど堆積層が厚く，地盤が軟弱で地震動が増幅しやすい

常時微動H/Vスペクトル～地震観測点

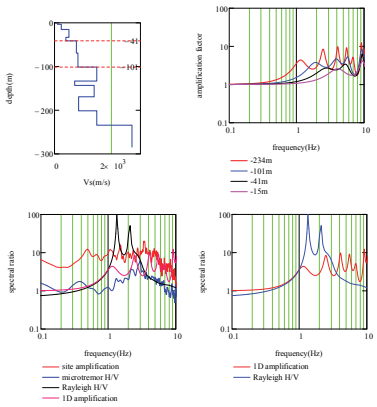


役場西（A04）は2Hz,役場東（T16）は3Hz．盛土の影響で特に西側は長周期化していると考えられる．

KiK-net（A16）は3Hz．4/14の強震記録は2Hzピークで地表／地中のスペクトル比は3Hzピークである．

役場の震度計の1Hzは盛土などの非線形の影響による可能性がある．

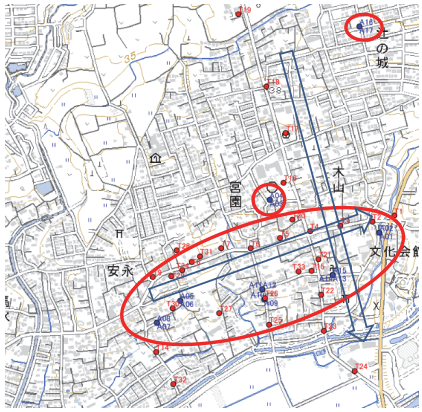
KMMH16地点の堆積層は厚い（地震基盤相当は地下−234m）



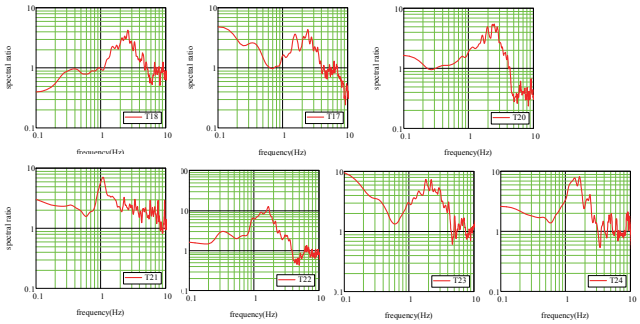
常時微動H/Vスペクトルのピークは概ね地下-40〜100m程度の地盤を基盤としたピークに対応すると考えられる.

工学的基盤（支持層）より上の地盤構造だけでは益城町の地盤震動特性を理解することは出来ない

KiK-net公開のS波速度構造によるレイリー波H/Vスペクトルと常時微動H/Vスペクトルには不整合があり，地盤構造の精査が必要か

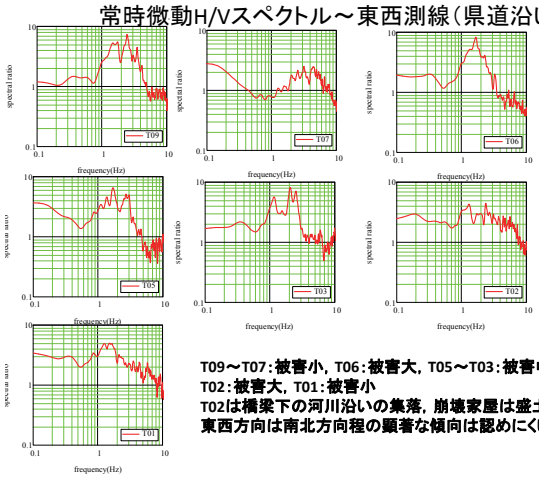


常時微動H/Vスペクトル～南北測線（役場東側）



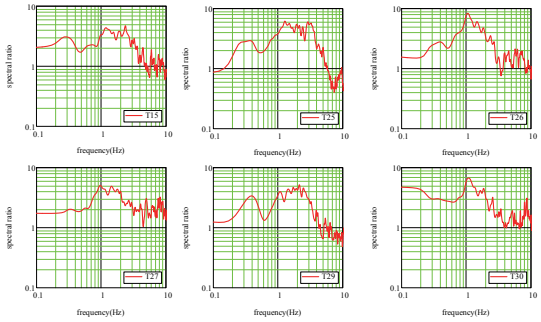
- 県道28号より北側は概ね2-3Hz：被害比較的小
- 南側は局所的に1Hz⇒大被害箇所，秋津川付近では2Hz程度⇒被害中程度（河川沿いに軟弱層が堆積しているという単純な問題ではない）
- 被害程度と卓越周波数が対応し，堆積層の厚い地点で被害が大

常時微動H/Vスペクトル～東西測線（県道沿い）



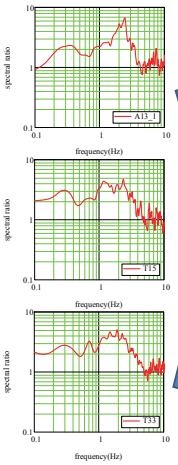
T09～T07：被害小，T06：被害大，T05～T03：被害中～大，T02：被害大，T01：被害小
T02は橋梁下の河川沿いの集落，崩壊家屋は盛土上に建築
東西方向は南北方向程の顕著な傾向は認めにくい

常時微動H/Vスペクトル　県道より南の大被害箇所

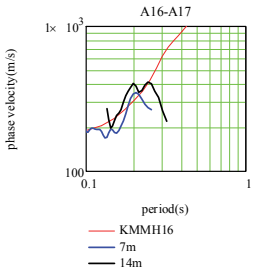


1Hzに鋭いピークがあるか，または1-2Hzにかけて広い周波数帯で振幅比が高い⇒後者は地盤構造の変化する領域で起こりやすい
どの地点もピーク周波数が低く，堆積層が厚いかまたは軟弱な地盤が堆積している地点といえる

僅かな距離でも大きな被害の違い
常時微動H/Vスペクトルにも違いが認められる



もう少し詳しい地盤構造の把握のために:アレイ観測結果の解析
KiK-net益城　A16-A17　（以下暫定版）

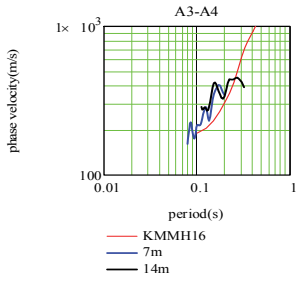


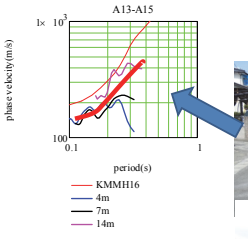
KiK-net益城では若干非線形の影響が残っている可能性はあるが，概ね地震前のS波速度構造による理論位相速度と整合する

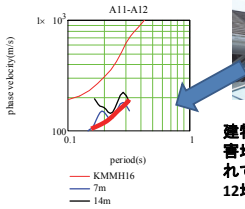
位相速度：表面波の伝播速度であり，値が大きいほど固い地盤が堆積していることを示す．短周期側（図の左側）の値は地表付近の地盤の固さと関連性が高い．

益城町役場（A3-A4）

益城町役場（西側の盛土部）の位相速度は0.1秒（波長20m）以上ではKiK-net益城と同等以上の値を示す．すなわち，原地盤の条件は悪くないが，盛土により地震動増幅の影響を受け震度7となった可能性



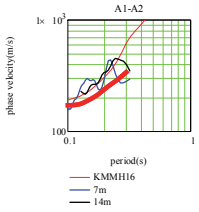


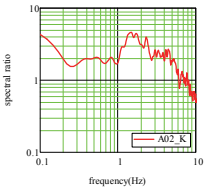


:アレイ観測結果の解析
（200m程度の距離の2地点）

建物被害の極小のA13-15と益城町における最大被害地点極近傍のA11-12では距離は200mほどしか離れていないが，位相速度は大きく異なっており，A11-12地点は極めて軟弱な地盤であるといえる．

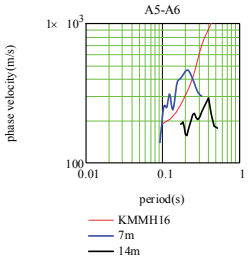
アレイ観測結果の解析（大被害地域）A1-A2





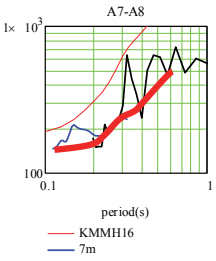
大被害のA01，02地点は，原地盤そのものは非常に悪いというわけではない⇒盛土の影響による被害拡大の可能性

アレイ観測結果の解析（大被害地域）A5-A6



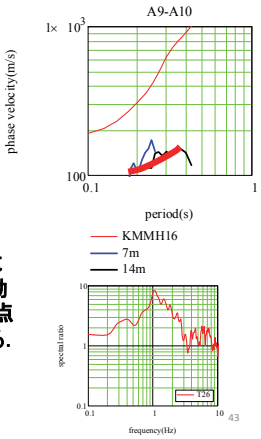
各アレイの結果が不整合であり，更に検討が必要

アレイ観測結果の解析（大被害地域）A7-A8



0.1秒程度の位相速度は被害小のA13-A15地点と同程度だが，0.3秒程度の位相速度は同地点を下回る⇒地表付近のS波速度は同程度だが，軟弱層が厚く堆積している可能性

アレイ観測結果の解析（最大被害地域）A9-A10



本地点は調査対象範囲における最大被害地点であり，位相速度，常時微動H/Vスペクトルより，常時微動計測地点の中で最も軟弱な地点であるといえる．

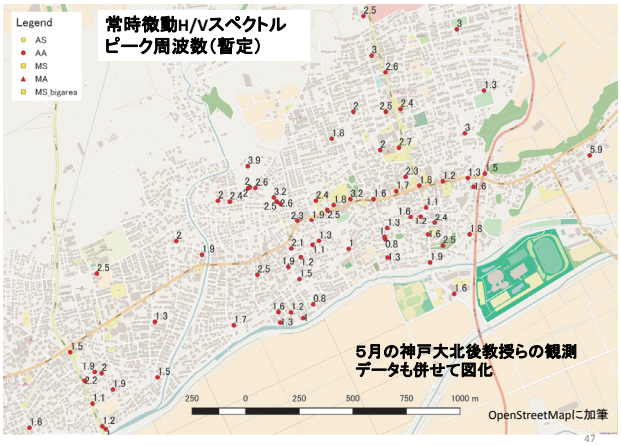
地盤条件と建物被害の関連（暫定）

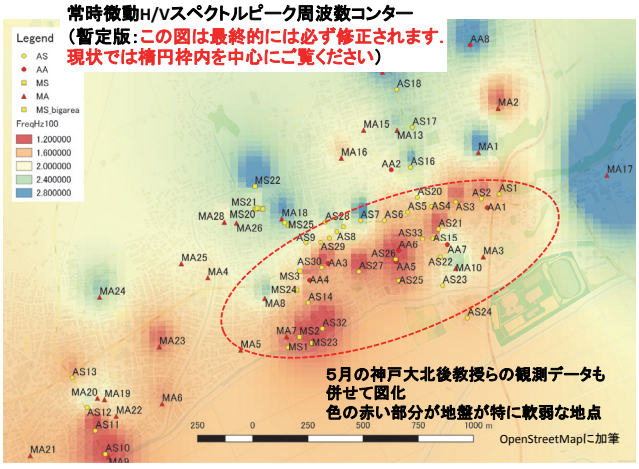
建物被害	常時微動H/Vスペクトルピーク周波数
大	1．5Hz以下
中	1．5～3Hz
小	3Hz以上

「平成28年（2016年）熊本地震　復興支援 ボーリング柱状図 緊急公開サイト」のデータを参照すると，固有周期の長いエリアは表層地盤が非常に軟弱で，工学的基盤（支持層）は地下-30m程度以下

その後の被害調査

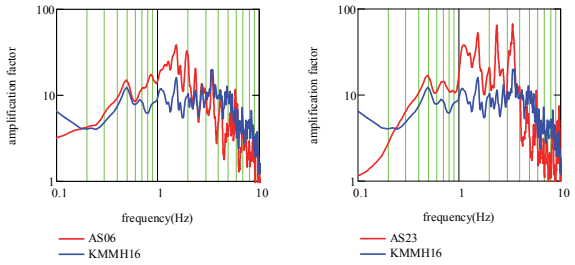
- 神戸大北後教授らによる被災調査
  第一回　5/1-5/5
  第二回　5/20-5/22
  長尾らによる常時微動観測　7/22-7/26
  以上により，常時微動観測点が追加された
- 今後
  9月中旬に常時微動アレイ観測等を追加し，益城町の地盤構造について詳細な分析を実施する予定





余震観測記録によるサイト増幅特性の評価1/2

（暫定版，この図は必ず修正されるので参考的にご覧ください）

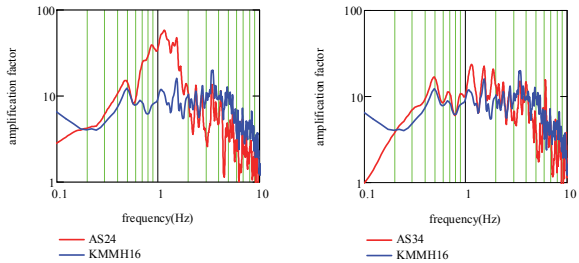


KiK-net益城と比較すると，AS06は0.7-2Hz程度の範囲で増幅倍率が高く，AS23は1-2Hzの範囲で増幅倍率が高い

地点位置はp46参照

余震観測記録によるサイト増幅特性の評価2/2

（暫定版，この図は必ず修正されるので参考的にご覧ください）



KiK-net益城と比較すると，AS24は0.7-2Hz程度の範囲で増幅倍率が高く，AS34はほぼ同等．AS31，AS35もほぼKiK-net益城と同等

地点位置はp46参照

今後の研究内容

- 常時微動観測の追加（アレイ観測含む）
- 常時微動観測記録の更なる詳細な解析により，大被害，中被害，小被害エリアの地盤条件の把握
- 常時微動観測記録，余震記録の解析により，益城町のサイト増幅特性の評価と前震，本震などの地震動の推定
- 地盤条件と建物被害の相関分析

熊本地震を踏まえた今後の課題

- 地点毎の揺れの強さを反映した耐震性評価，設計法・基準類の整備の必要性
- 構造物の耐震性に関するシステムとしての議論の必要性

住宅は地盤の上，基礎の上に建つものであり，構造体のみで地震に耐えるものではない

橋梁は構造本体が健全であっても，アプローチ部で段差が発生すれば橋梁としての機能を発揮せず，救援活動などに大きな支障が発生する

熊本地震を踏まえて，我々は何を考えるべきだろうか？

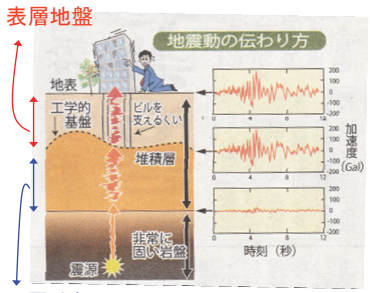
M6.5の地震による震度7の意味

- M6.5の地震は，まさにどこで起こっても不思議ではない（M6.5以下の地震は地表に活断層として痕跡が現れない場合が多く，活断層データから地震の発生を予測することは大変難しい「土木構造物共通示方書」）
- M6.5の地震でも震度7になる場所は，堆積層が厚く地震動の増幅特性が厳しい場所である

地震動の増幅は，表層地盤・深層地盤の両方の影響を考慮しなければならない

地震動は表層地盤・深層地盤の両方で増幅される．増幅程度が大きいのは深層地盤の方である，

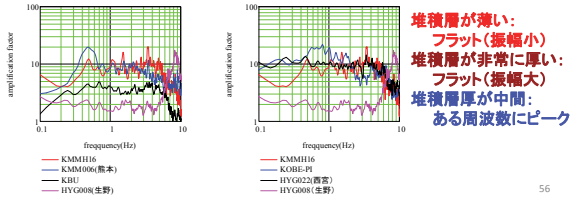
一般に地盤の良し悪しは表層地盤を対象にしか議論されないが，それでは不十分である



神戸新聞　都市安全研究センター・コラム
安心の素　2013.10.21

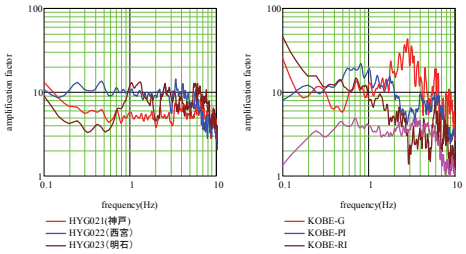
近畿地方の堆積平野の地震動増幅特性は

- 深層地盤情報に深層地盤による増幅特性の厳しさは全国有数で，地点毎の差はそれほど大きくない（つまり，どこもよく揺れる）
- 深層地盤情報については，地震ハザードステーションが参考となる（http://www.j-shis.bosai.go.jp/）
- 表層地盤による増幅特性は地点により異なる
- 両者をあわせたものがサイト増幅特性である



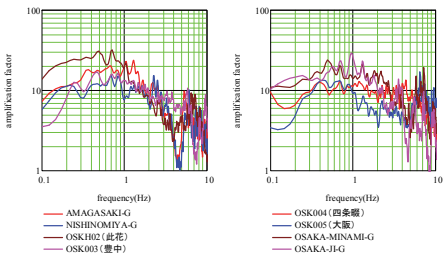
堆積層が薄い：フラット（振幅小）
堆積層が非常に厚い：フラット（振幅大）
堆積層厚が中間：ある周波数にピーク

近畿地方のサイト増幅特性の例



野津　厚，長尾　毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料No.1112，2005

近畿地方のサイト増幅特性の例

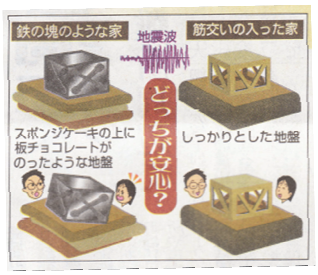


野津　厚，長尾　毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料No.1112，2005

住宅について：建屋の耐震性だけを議論することには問題がある

地盤，基礎，建屋のそれぞれについて耐震性を評価しなければならない

軟弱地盤上の住宅の耐震化は，建屋の耐震補強だけでは十分とは言えない



神戸新聞　都市安全研究センター・コラム
安心の素　2016.5.16

おわりに

- 被災地の一日も早い復興をお祈りします

- 本資料は以下の方々の成果を含むものです
  神戸大学　北後明彦教授・ロハニタハラディ氏
  ニュージェック　伊藤佳洋氏
  エイト日本技術開発　福島康宏氏
- 防災科学技術研究所，気象庁・熊本県の地震記録を用いました．「平成28年（2016年）熊本地震　復興支援 ボーリング柱状図 緊急公開サイト」のデータを用いました．ここに感謝します．
- 住宅と地盤に関する現状の問題点等は，別ページ（住宅建築等に関する諸問題）に移動しました