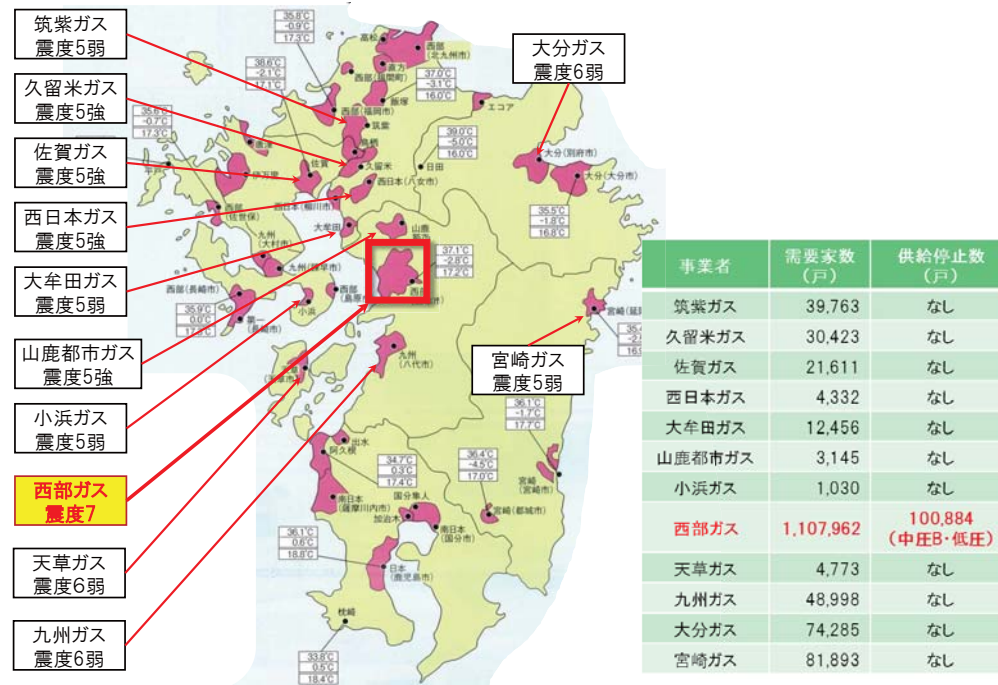


# 2016年熊本地震 架管被害調査 (熊本市、益城町)と考察

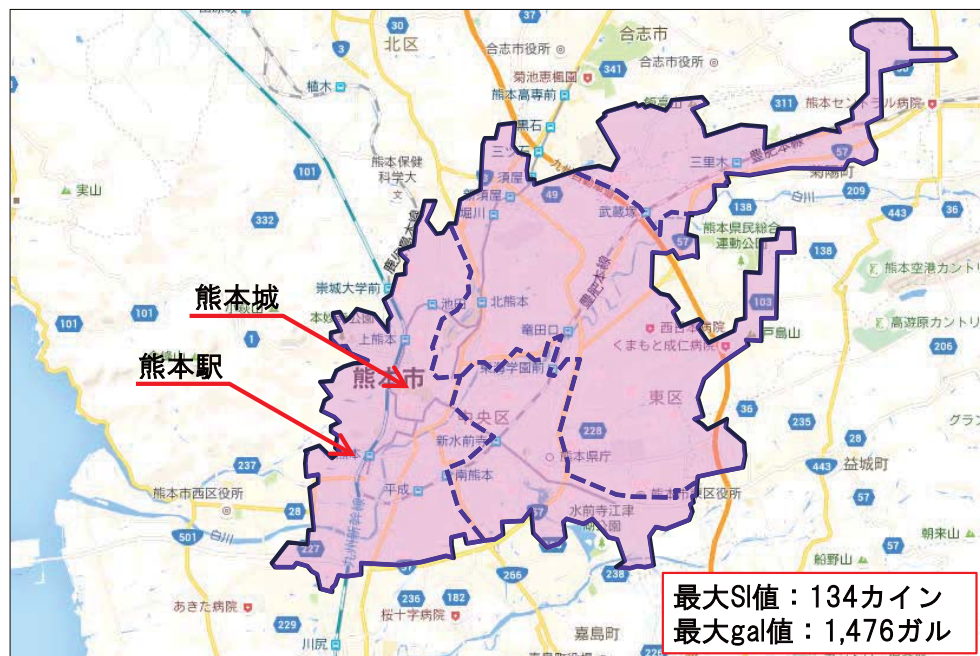
名古屋大学 減災連携研究センター  
北野哲司

【平成28年11月12日 南海トラフPJ\_NN会@減災館】

## 震度5弱以上が観測された都市ガス事業者



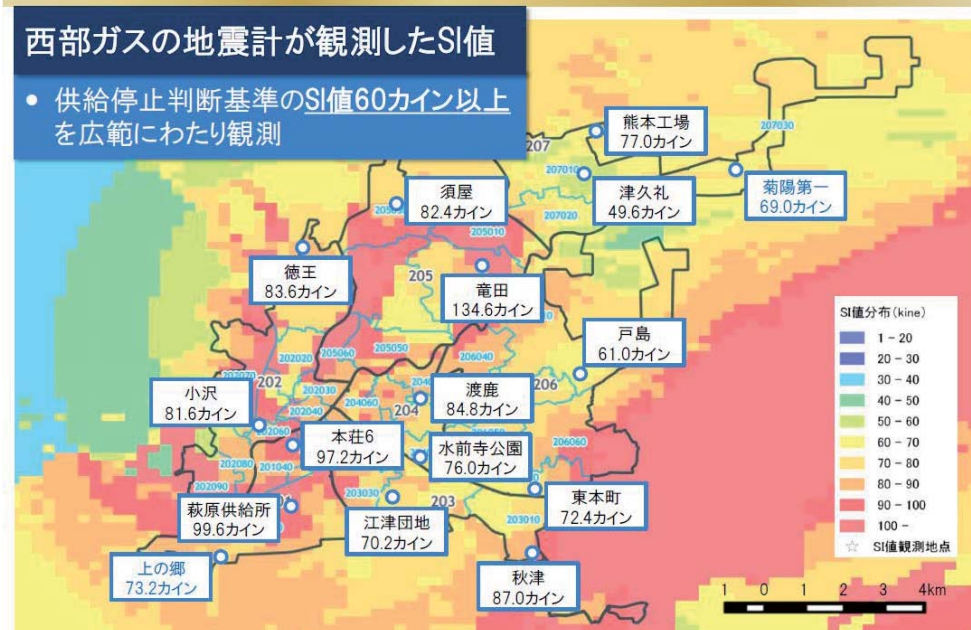
## 都市ガスを供給停止した地域(熊本市ほか)



## 西部ガス熊本支社管内の観測SI値

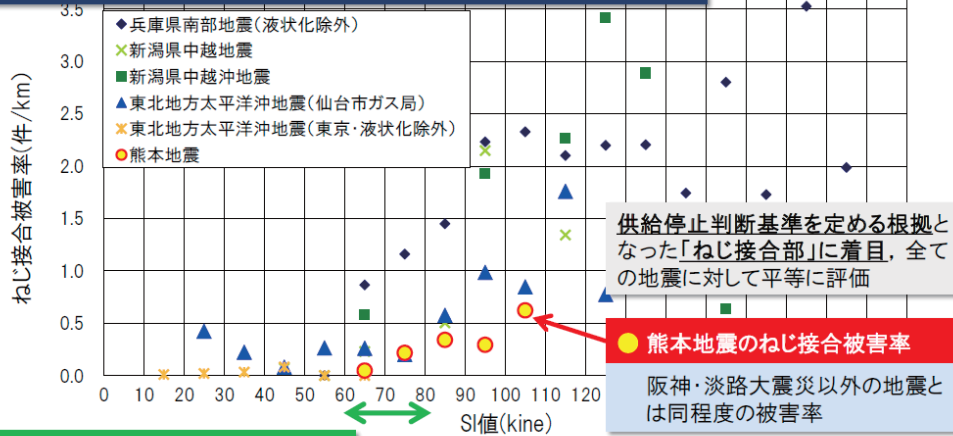
### 西部ガスの地震計が観測したSI値

- 供給停止判断基準のSI値60カイン以上を広範にわたり観測



# 過去の地震被害との比較

SI値とねじ接合被害率との関係 ※液状化地区以外

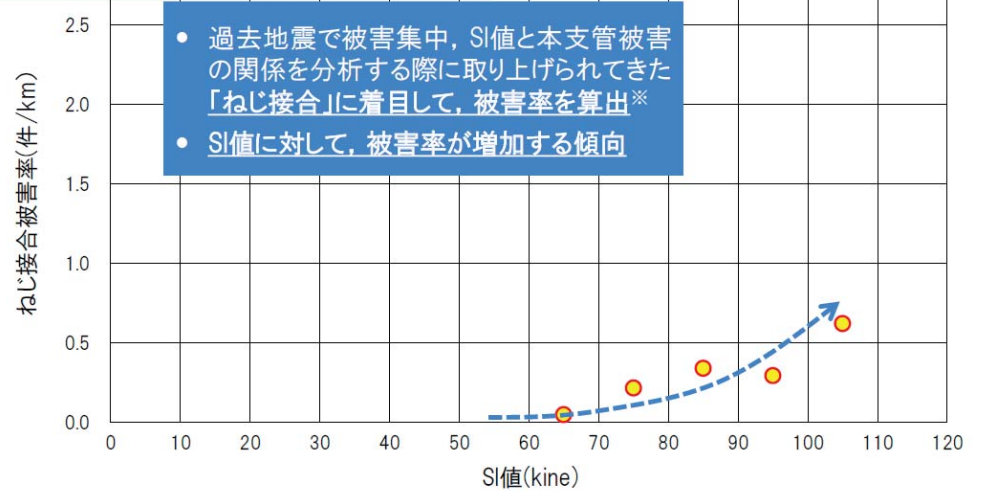


**供給停止判断基準(暫定値):**  
 阪神・淡路大震災以降、60~80カインの有効なデータが少ない等の理由から、60カインを暫定値として設定

※ 熊本地震の被害率は、速報用として復旧ブロック単位で算出(今後、250mメッシュ単位で詳細分析を実施)

# 低圧ガス導管の被害分析

SI値とねじ接合被害率との関係



- 過去地震で被害集中、SI値と本支管被害の関係を分析する際に取り上げられてきた「ねじ接合」に着目して、被害率を算出※
- SI値に対して、被害率が増加する傾向

※ 速報用として復旧ブロック単位で被害率を算出(今後、250mメッシュ単位で詳細分析を実施)

## 過去の地震被害との比較

※供給区域内(各地区)で震度5弱以上を観測した事業者を対象に集計

	阪神・淡路大震災	中越地震	中越沖地震	東日本大震災(津波被害含む)	熊本地震※1
発生日	1995年1月17日	2004年10月23日	2007年7月16日	2011年3月11日	2016年4月16日
地震規模	震度7, M7.2	震度7, M6.8	震度6強, M6.8	震度7, M9.0	震度7, M7.3
供給停止戸数	約85.7万戸	約5.7万戸	約3.4万戸	約46.3万戸	約10.1万戸
復旧日数	94日	39日	42日	54日(36日)	15日
被害総戸数	106箇所	6箇所	27箇所	5箇所	0箇所
被害総延長	約5,000km	約330km	135km	17箇所	9箇所
被害率	約2箇所/100km	約2箇所/100km	約20箇所/100km	約0.2箇所/100km	約0.5箇所/100km
被害箇所	5,223箇所	148箇所	166箇所	774箇所	79箇所
被害総延長	約37,000km	約4,000km	約5,000km	82,936km	12,689km
被害率	約14箇所/100km	約4箇所/100km	約3箇所/100km	約0.9箇所/100km	約0.6箇所/100km
(参考) 低圧本支管耐震化率の全国平均値	68% (大阪ガス耐震化率)	73.5% (全国平均:JGA概算)	76.6% (全国平均:JGA概算)	80.1% (全国平均:JGA概算)	85.9%※2 (全国平均:供給計画2014年12月時点)

※1 西部ガスの被害のみ集計。震度5弱以上を観測した事業者の被害確認中(被害があった場合、被害箇所数を追加)  
 ※2 西部ガス熊本支社の耐震化率:85.6%(2014年12月時点)

## 被害の概要(供給設備)

	被害状況
中圧ガス導管	
中圧A	被害無し
中圧B	9箇所 機械的接合(抜出し防止無し) : 9箇所 ※ 全て継手緩みによる減少漏れ(継手緩み無し),増締め修理
低圧ガス導管・本支管	
中支管	79箇所 機械的接合(抜出し防止無し) : 10箇所 機械的接合(抜出し防止あり) : 23箇所 ※ 全て継手緩みによる減少漏れ(継手緩み無し),増締め修理等 ねじ接合(船舶メッキ鋼管) : 46箇所 ※ 継手の亀裂・応力集中,入替修理等

※ ポリエチレン管(PE管)は被害無し(中圧Bガス導管,低圧ガス導管)

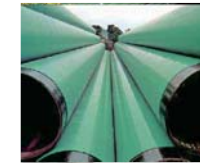
# 重要度の高い路線から耐震性の高い管路への取替え



鋼管(ねじ継手)



铸铁管(印ろう継手)



鋼管(溶接)、鋼管(抜出し機能あり)



樹脂管  
ポリエチレン管(PE管)



铸铁管(抜出し防止機能あり)



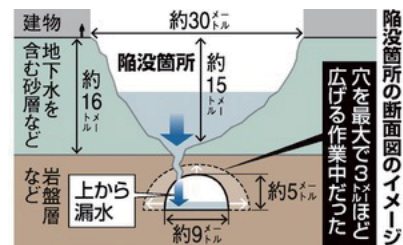
機械的接合の継手緩み漏れ



ねじ接合の折損

出典:経済産業省ガス安全小委員会(第14回)-配布資料

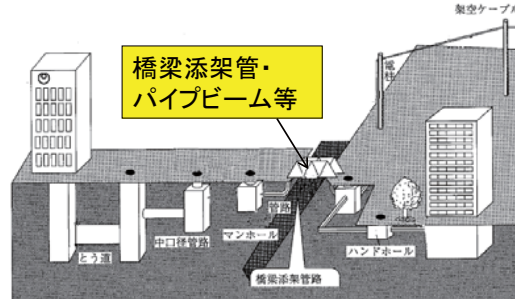
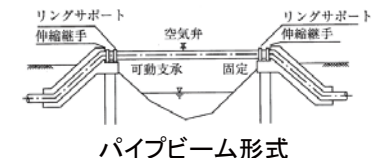
# 平成28年11月8日早朝、JR博多駅前の道路での大規模陥没の概要



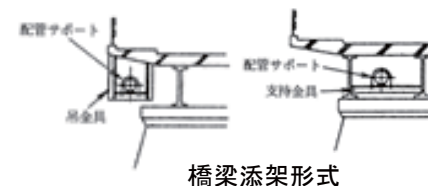
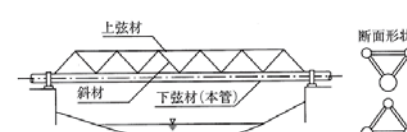
出典：YahooMap,朝日新聞

# 橋梁添架管・パイプビームに注目して調査

- 【管路が河川を横断する場合】
- 河川幅が10~15m程度の小河川ではパイプビーム形式が適用。
- 広い河川では、トラス補剛橋等や既設の道路橋等への添架が適用。



情報通信土木設備



出典：都市ライフラインハンドブック、社団法人土木学会編  
水道施設設計指針2012  
都市ガス工業概要(供給編)

# 益城町内の架管等調査地点



# 益城町地内鉄砂川に架かる架管

東西方向の架管のみに  
変形・損傷有り。



# 架管等が変形・損傷した原因

## ① 橋台背後摺り付け地盤の沈下

- ✓ 第一畑中橋(益城町)  
⇒右岸36cm、左岸40cm地盤沈下
- ✓ 馬水迫橋(益城町)⇒右岸27cm、左岸20cm地盤沈下
- ✓ 真島橋右岸(熊本市)⇒右岸22cm地盤沈下

## ② 橋梁上部工の移動

## ③ 河川護岸の移動・崩壊

## ④ 河川兩岸の地震時相対変位

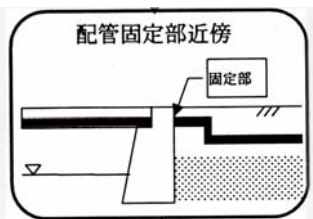
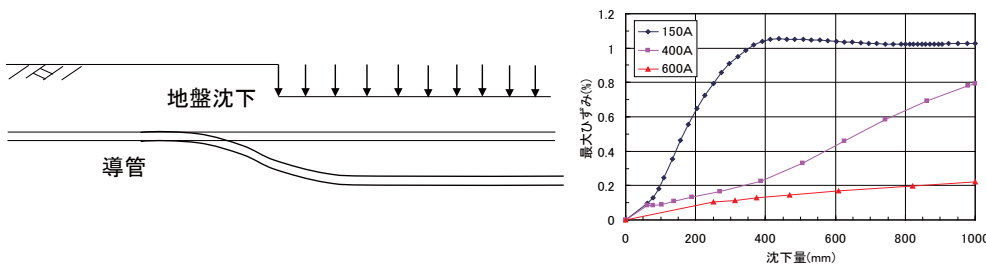
## ⑤ 【埋設管被害】道路盛土の崩壊

# 真島橋右岸-下流側添架管

橋台背面地盤の沈下による配管変形、橋台背面地盤22cm沈下



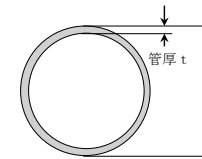
# 固定部が存在する配管の地震時被害



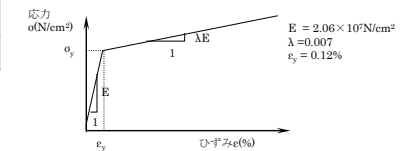
茨城県神栖市鰐川浄水場 出典: 日水コン(株)資料 15

# 配管諸元・地盤ばね特性・配管モデル要素

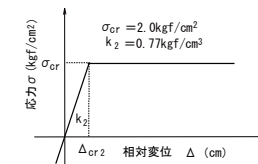
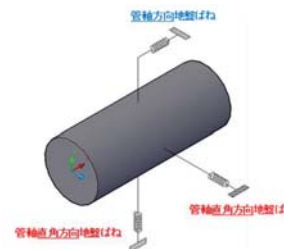
- ① 口径・管厚: 100A(直径約10cm)、t=4.5mm
- ② 材料規格: JIS G 3452「配管用炭素鋼鋼管(SGP)」、曲管: ロングエルボ(曲率半径1.5DR)
- ③ 接合方法: 溶接接合
- ④ 材料特性: 中・低圧ガス導管耐震設計指針で規定のパイニアモデル使用。  
静的解析であるため、材料特性は等方硬化則となる。



口径	外径 D (cm)	管厚 t (cm)
100A	11.43	0.45



- ⑤ 地盤拘束力: 管軸方向・管軸直角方向共に、中・低圧ガス導管耐震設計指針(日本ガス協会)で規定のパイニアモデル使用。

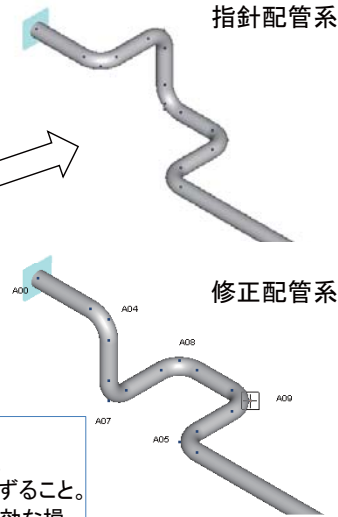
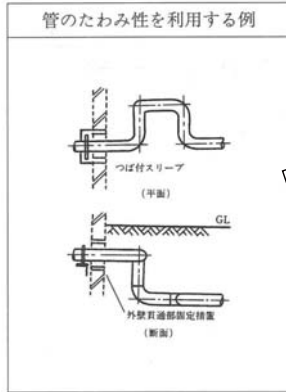


## ⑥ 配管要素モデル(シェル要素)

管軸方向	約1cmで分割
円周方向	36分割/周 (10° ピッチ)
管軸方向	曲率5° ピッチ (18分割/90° 曲管)
円周方向	36分割/周 (10° ピッチ) 16

# 建築設備耐震設計・施工指針(日本建築センター)

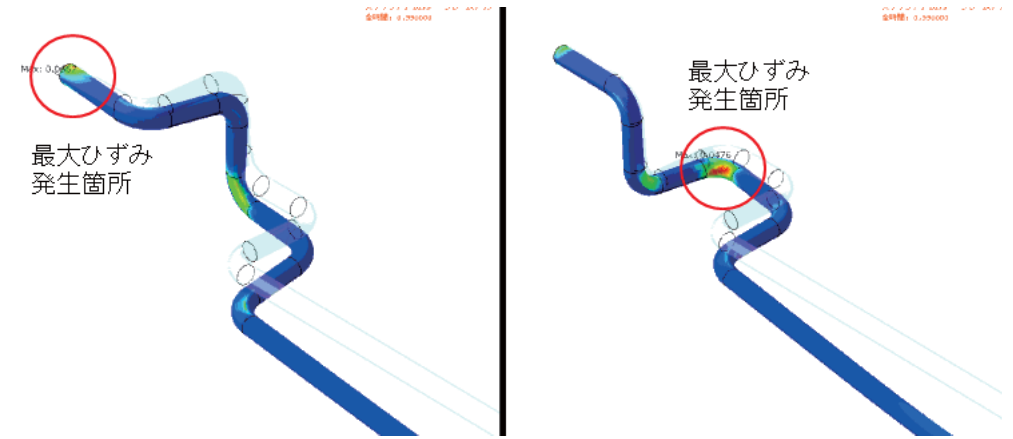
## 【建築物導入部の配管】



配管設備については、

- ① 配管の貫通により建築物の構造耐力上に支障が生じないこと。
- ② 貫通部分にスリーブを設ける等有効な配管損傷防止措置を講ずること。
- ③ 変形により配管に損傷が生じないように可撓継手を設ける等、有効な損傷防止措置を講ずること。

# 『配管の最大ひずみ発生位置』と『位置移動』



【地盤沈下吸収能力】  
配管系が吸収できる  
地盤変位量

	指針配管系	修正配管系	許容値
外壁固定部	9.5cm	21cm	2%ひずみ
直管部	9.5cm	21cm	2%ひずみ
曲管部	38cm	50cm以上	5%ひずみ

## 架管等が変形・損傷した原因

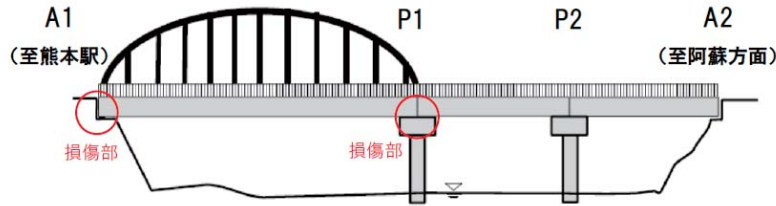
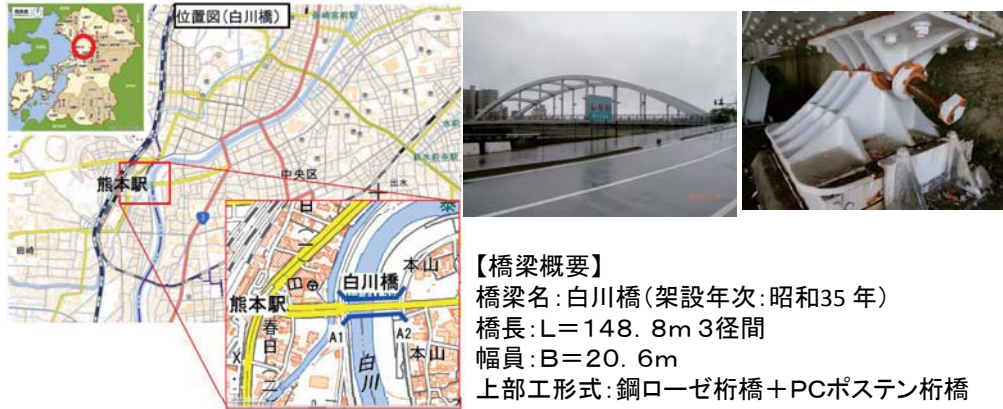
- ① 橋台背後摺り付け地盤の沈下
- ② 橋梁上部工の移動
  - ✓ 矢形橋右岸(熊本市)
    - ⇒北へ6cm移動&支承部落橋ストップせん断破断
  - ✓ 木山橋(益城町)⇒西へ左岸30cm右岸16cm移動
  - ✓ 白川橋右岸(熊本市)⇒北へ10cm移動
- ③ 河川護岸の移動・崩壊
- ④ 河川兩岸の地震時相対変位
- ⑤ 【埋設管被害】道路盛土の崩壊

## 熊本駅前の白川橋



2016/5/29

## 白川橋の概要



出典: 熊本河川国道事務所

21

## 白川橋が、時計回り移動



白川橋: アーチ橋、延長149メートル

国土交通省のテックフォース他の現地調査から、橋桁が右岸の橋台(A1)で上流側に10cmほどずれているのに加え、中間橋脚(P1)でも下流側に5cmほどずれ、時計回りに動いた。



橋梁が10cm北に移動

22

## 架管等が変形・損傷した原因

- ① 橋台背面地盤の沈下
- ② 橋梁上部工の移動
- ③ 河川護岸の移動・崩壊
- ④ 河川兩岸の地震時相対変位  
 ✓ 酒場橋下流パイプビーム(益城町)
- ⑤ 【埋設管被害】道路盛土の崩壊

23

## 益城町酒場橋横パイプビーム



# 水道伸縮継手の食込み損傷

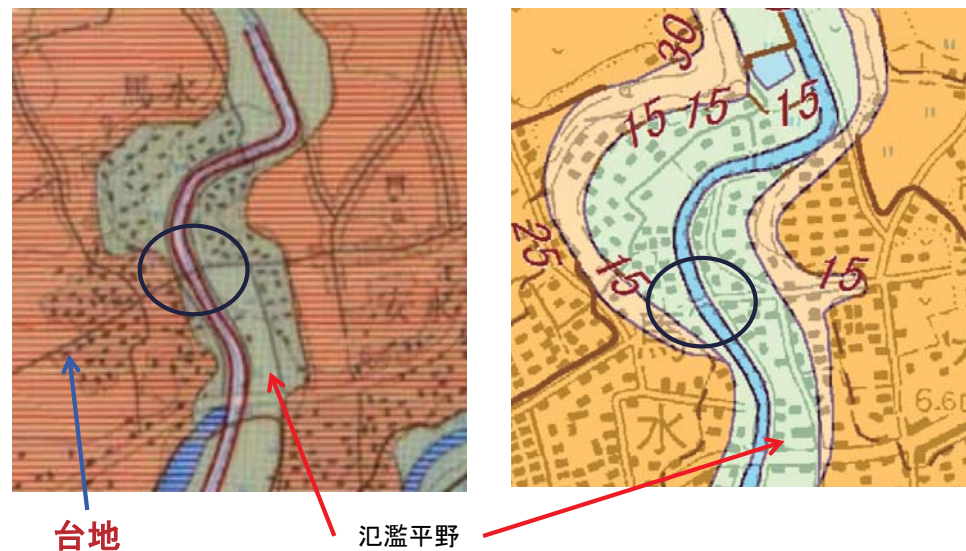
溶接鋼管：口径300A、スリーブ全長：約220mm



# 鉄砂川周辺の治水地形分類図

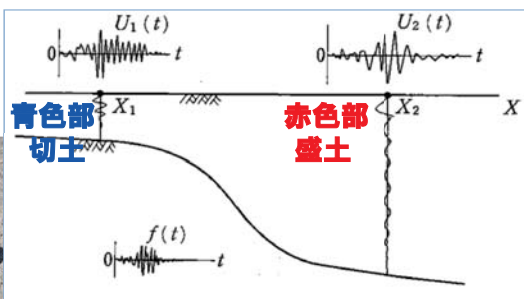
●初期整備版：昭和51年度～昭和53年度調査

●更新版（平成19年度～）

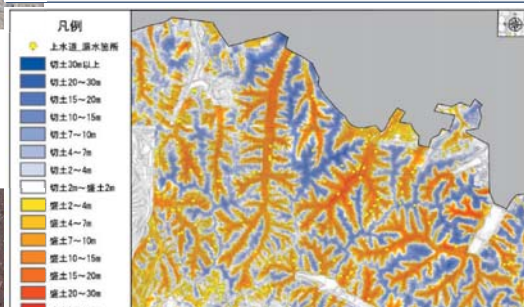


# 丘陵地の切土盛土地盤

平成19年新潟県中越沖地震の事例



平成16年新潟県中越地震の事例



東北地方太平洋沖地震  
仙台市水道管被害箇所

# 架管等が変形・損傷した原因

- ① 橋台背後摺り付け地盤の沈下
- ② 橋梁上部工の移動
- ③ 河川護岸の移動・崩壊
- ④ 河川兩岸の地震時相対変位
- ⑤ **【埋設管被害】道路盛土の崩壊**

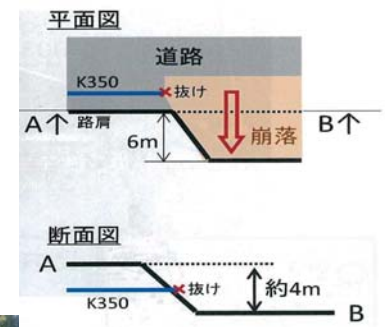
✓ **国道443号線：寺迫交差点北側（益城町）**

# 益城町 寺迫交差点北側

- 国道443号線: 道路盛土(地滑り)により、**歩道埋設の配水池への送水管**
- K形 鋳鉄管φ350mm 抜きし被害

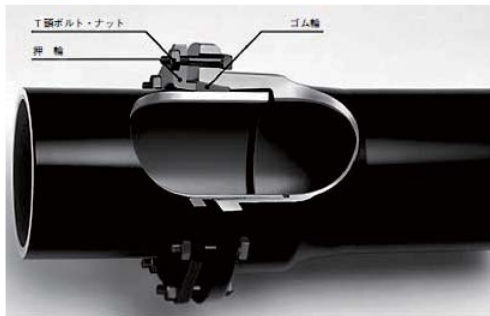


GoogleEarth2016/04/15撮影



2016/04/15 益城町荒木氏撮影

## K形継手抜き出し状況(受け口側)



## 盛土道路崩壊に伴う溶接鋼管の露出



the1995 Hyogoken-nanbu Earthquake



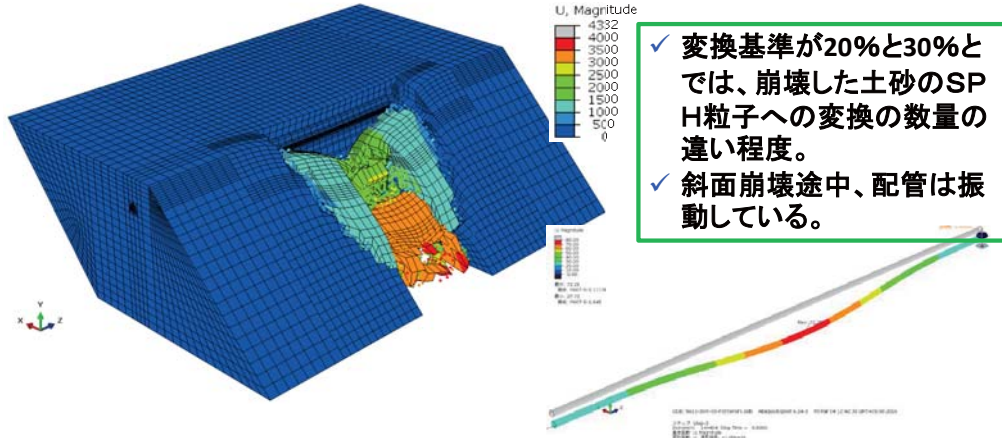
the 2011 East Japan Earthquake





# 掘削幅3.5mの場合の解析結果

Case	有限要素からSPH粒子への変換基準	SPH粒子个数
1	最大主ひずみ(絶対値) = 20%	FEM1要素当たり1個
2	最大主ひずみ(絶対値) = 30%	同上

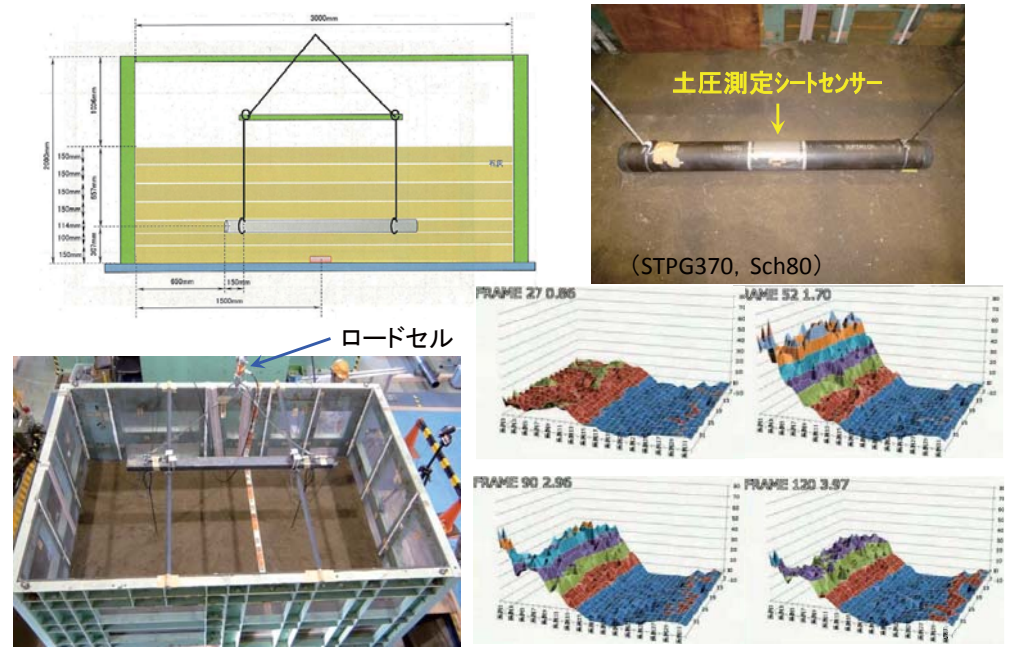


✓ 変換基準が20%と30%とでは、崩壊した土砂のSPH粒子への変換の数量の違い程度。  
 ✓ 斜面崩壊途中、配管は振動している。

有限要素からSPH粒子への変換基準  
 :最大主ひずみ(絶対値) 30%

変形倍率: 10倍

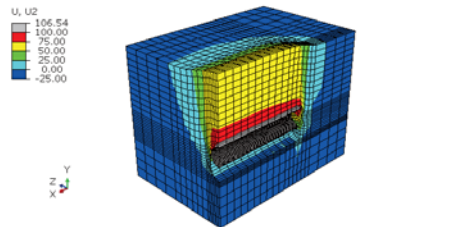
# 鋼管の鉛直方向引き上げ実験



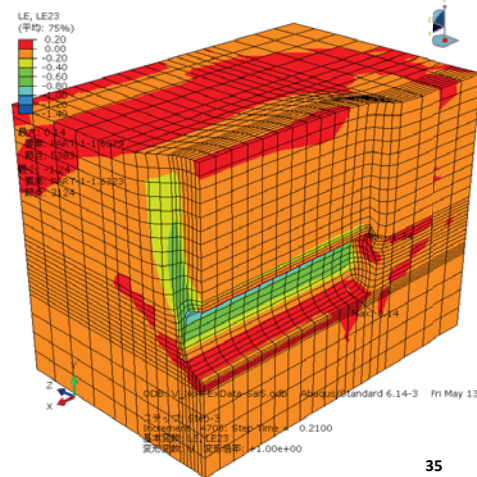
# メッシュサイズの検討

- 配管引き上げ最終変位: 94mm
- ✓ 配管には、上載荷重に加え、すべり面内の土荷重も徐々に作用していく。
- ✓ そのため、引き上げ荷重は、減少していかない。

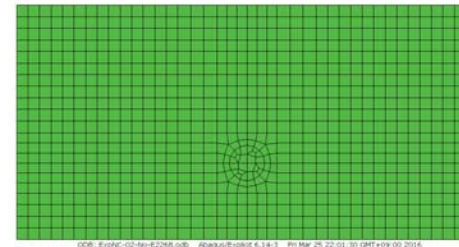
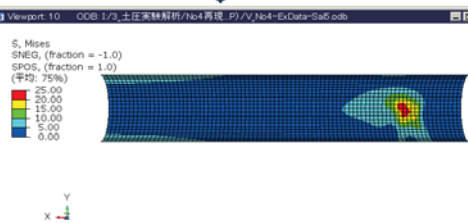
## ①地盤の鉛直変位



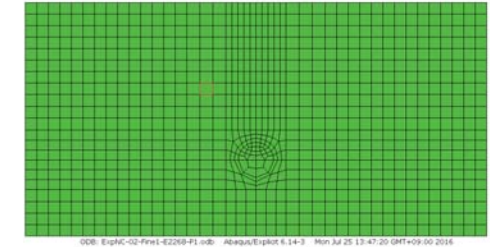
## ②地盤のせん断ひずみ (τ 32)



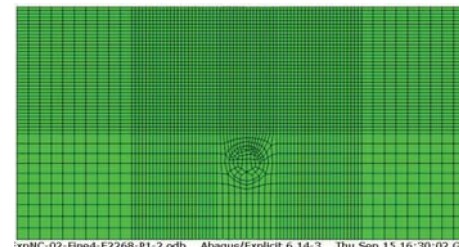
## ③配管のミーゼス応力 (MPa)



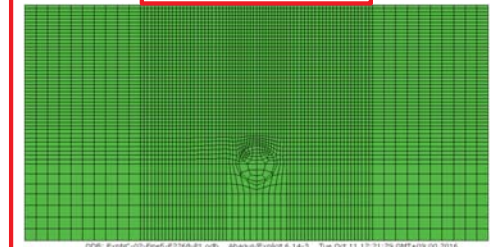
Normal (管直上Mesh縦50mm × 横43mm)  
 Pipe2cmPitch



Fine1 (管直上Mesh縦50mm × 横26mm)  
 Pipe2cmPitch



Fine4 (管直上Mesh縦15mm × 横14mm)  
 Pipe1cmPitch



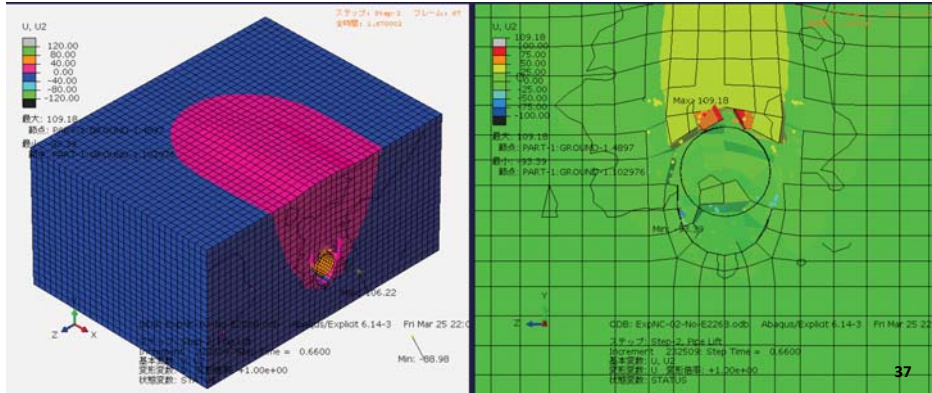
Fine5 (管直上Mesh縦15mm × 横13mm)  
 Pipe1cmPitch

解析実施中

# FEM-SPHハイブリッド解析結果

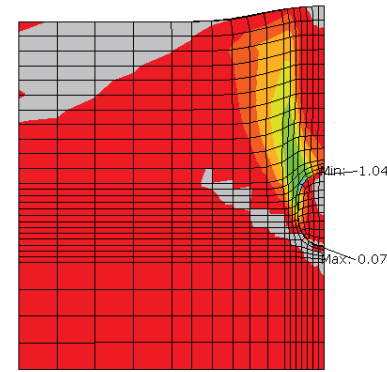
- 配管引上げ量:最終80mm
- SPH粒子への変換基準は、主ひずみ:20%  
有限要素からSPH粒子への変換個数:1個/要素

- ✓ 「地盤メッシュの粗さ(5×5×5cm)」及び「SPH粒子への変換個数の少」が、配管移動量50mm前後の引上げ荷重の急激な降下に繋がっている。(課題:計算時間が掛かる)
- ✓ 一方で、土砂の管下への回り込み、引上げ荷重の低減は、表現できている。

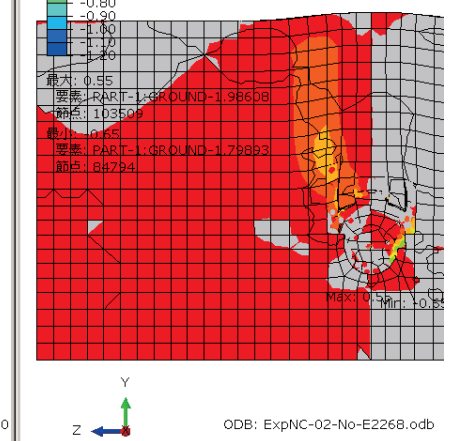


# FEMとハイブリッド手法との比較 (せん断ひずみ分布 $\tau_{23}$ )

- 配管引上げ量80mmまでの結果で比較した。  
FEM(陰解法)



FEM(陽解法)とSPH

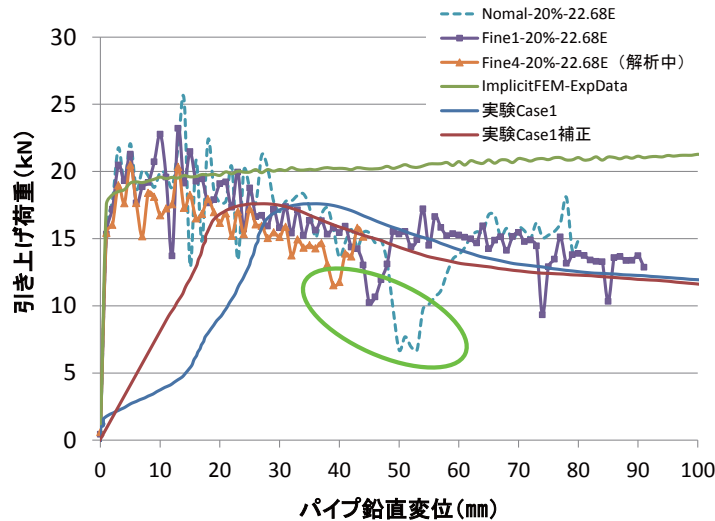


ODB: V\_No4-ExData-Sai5.odb Abaqus/Standard 6.14-3 Fri May 13 10

ODB: ExpNC-02-No-E2268.odb

- ✓ 連続体FEMは、せん断ひずみが増大していく。配管への土圧も増大する。  
一方、FEM-SPHは、せん断ひずみの増大はある限界値に達し、その後一様で推移する。

# パイプ鉛直引上げ変位と荷重



◎平成28年熊本地震  
地表地震断層と埋設管  
2016.4.14前震発生  
2016.4.16本震発生  
⇒**鋳鉄管**

◎長野県神城断層地震  
地表地震断層と埋設管  
2014.11.22 22時08分発生  
⇒**ポリエチレン管, 鋳鉄管, 下水ヒューム管**