

イタリア・ラクイラ地震建築チームの調査の概要

建築チームの目的

地震被害の初動調査として

- 1) 構造形式の特徴と施工方法の調査を実施し、建物の耐震性を把握する
- 2) 建物被害の特徴を被災地の地理的条件との関連で検討する
- 3) 適切な地域を選択し、建物の特異性に被害率を求める

ことを目的とし、これらの調査結果に基づき詳細調査の必要性の是非について提言を行う。

建築チーム調査メンバー

- 青木 孝義 (名古屋市立大学 准教授)
- 岸本 一蔵 (大阪大学 准教授)
- 迫田 丈志 (東北大学大学院 助手)
- 高橋 典之 (東京大学 助教)
- 松井 智哉 (豊橋技術科学大学 助教)

建築チーム調査期間

2009年4月18日(土) ~ 2009年4月21日(火)

イタリア・ラクイラ地震建築チームの調査の概要

建築チーム調査行程

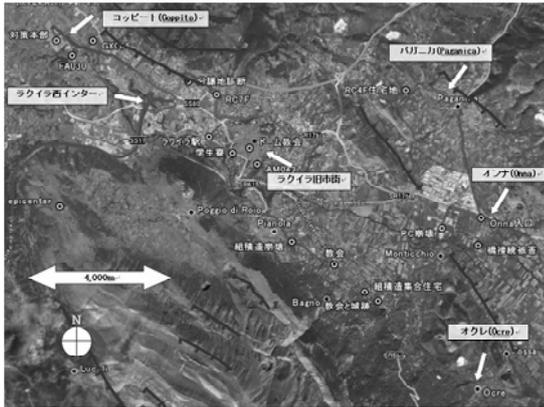
- 17日(金) 出国、ローマ着
- 18日(土) 午前:ローマ市内で地図、耐震設計基準などの資料購入。
午後:ローマから被災地に移動、バドヴァ大学のグループと合流し、Coppitoの被害対策本部内を視察。OcreのS. Angelo修道院の被害調査とCoppito周辺の被害調査。
- 19日(日) 午前:ローマから被災地に移動、ラクイラ規制街区で教会前広場周辺建物の被害調査、RC学生寮崩壊現場の被害調査。土木グループと合流。
午後:ラクイラ規制街区で建物被害調査。
- 4月20日(月) 午前:Via Amiternumを北東に入った街区の分譲住宅個別調査。
午後:ラクイラ規制街区でCorso Federico II, Via 20 Settembre沿いに建物被害調査。
- 4月21日(火) 午前:ラクイラ旧市街地周辺地域の建物被害調査。
午後:在イタリア日本大使館訪問
- 4月22日(水) ローマ発、帰国

建築分野の被害

- a. 建築チームの調査の概要 (青木)
- b. 旧市街地の広場付近の被害 (迫田)
- c. 旧市街地付近のRC建物の被害の特徴 (松井)
- d. 被災度判定に関して (高橋)
- e. 周辺地域被害の状況 (岸本)

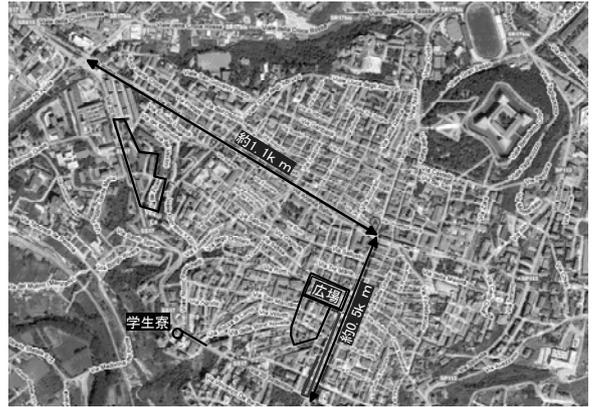
イタリア・ラクイラ地震建築チームの調査の概要

調査対象地域(ラクイラ旧市街地の周辺地域)



イタリア・ラクイラ地震建築チームの調査の概要

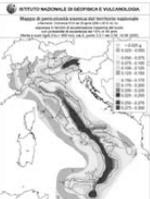
調査対象地域(ラクイラ旧市街地)



地震のリスク

地震危険度

Pericolosità



La pericolosità sismica di un'area è la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, essa sia interessata da forti terremoti che possono produrre danni.

建物危険度

Vulnerabilità



La vulnerabilità di una struttura è la sua tendenza a subire un danno in seguito a un terremoto.

説明(被害前後)

Esposizione



Prima dell'evento: Quantità e qualità dei beni esposti.
Dopo l'evento: L'esposizione esprime il valore delle perdite causate dal terremoto: economiche, artistiche, culturali, morti, feriti e senzatetto.

イタリア防災庁(Protezione Civile)のホームページより

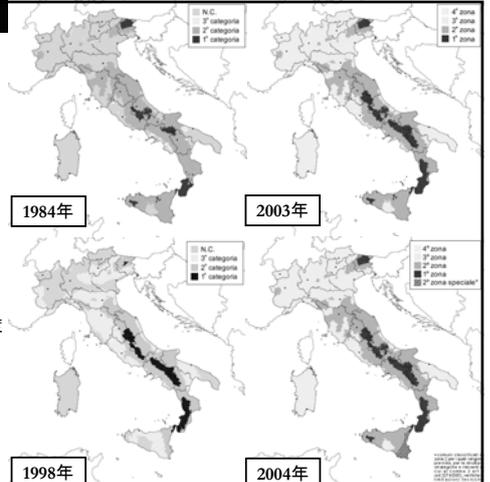
地震危険度

過去の地震

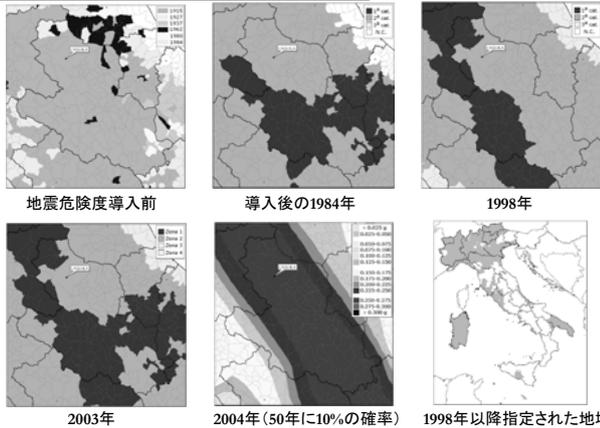
- 1693年 カターニア
- 1908年 メッシーナ
- 1909年 耐震基準
- 1974年 耐震設計法 (イタリア全土25%)
- 1980年 ナポリ
- 1981年 地震危険度 (イタリア全土45%)
- 1998年 (イタリア全土70%)
- 2002年 中南部
- 2003年 地震危険度
- 2004年 地震危険度

設計用地震力

- ゾーン1 : 0.35g (0.10g)
- ゾーン2 : 0.25g (0.07g)
- ゾーン3 : 0.15g (0.04g)
- ゾーン4 : 0.05g



地震危険度(ラクイラ周辺)



地震危険度導入前

導入後の1984年

1998年

2003年

2004年(50年に10%の確率)

1998年以降指定された地域

C. Meletti e M. Stucchi, "Pericolosità sismica, normativa e zone sismiche nell'Aquilano", 2009.04.16より

組積造建築の破壊レベル

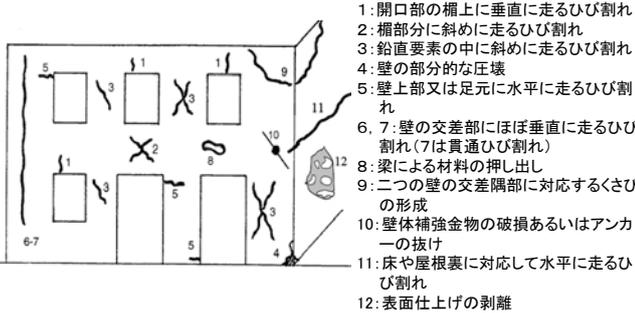
通常の建物

<p>レベル0 構造体： 損傷なし 構造体以外： 損傷なし</p>	<p>レベル3 構造体： 中程度の損傷 構造体以外： 深刻な損傷</p>
<p>レベル1 構造体： 損傷なし 構造体以外： 軽微な損傷</p>	<p>レベル4 構造体： 深刻な損傷 構造体以外： 危険を伴う損傷</p>
<p>レベル2 構造体： 軽微な損傷 構造体以外： 中程度の損傷</p>	<p>レベル5 構造体： 危険を伴う損傷 全体あるいは 部分的な崩壊</p>

JCI, 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書, 2007.6より

組積造建築の破壊形式

通常の建物(その1)



JCI, 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書, 2007.6より

組積造建築の破壊形式

通常の建物(その2)

<p>面内力による壁のせん断破壊</p>	<p>壁の不安定破壊(鉛直方向)</p>
<p>面内力による壁上せん断破壊</p>	<p>壁の曲げ破壊</p>
<p>回転による壁の全体破壊</p>	<p>水平方向滑り破壊</p>
<p>回転による壁の部分破壊</p>	<p>不同沈下による破壊</p>

JCI, 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書, 2007.6より

組積造建築の破壊形式

通常の建物(その3)

<p>隣接建物との不規則性による破壊</p>	<p>ティンバスムの回転による</p>
<p>屋根・床の梁抜けによる破壊</p>	<p>破壊壁上隅部の回転による破壊</p>
<p>楣石あるいはアーチの破壊</p>	<p>屋根裏部分面の回転による破壊</p>
<p>材料の局所的欠陥による破壊</p>	

JCI, 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書, 2007.6より

被災度判定

文化財(教会)

イタリア防災庁 (Protezione Civile)
文化庁 (Ministero per i Beni e le Attività Culturali)

各破壊形式について、0: 損傷なし、1: 小規模な損傷、2: 中規模な損傷、3: 重大な損傷、4: 非常に重大な損傷、5: 崩壊、で判定する

被災度判定
文化財(大邸宅)

イタリア防災庁 (Protezione Civile)
文化庁 (Ministero per i Beni e le Attività Culturali)

SCHEMI PER IL RILEVAMENTO DEL DANNO AI BENI CULTURALI - PALAZZI

各破壊形式について、0: 損傷なし、1: 小規模な損傷、2: 中規模な損傷、3: 重大な損傷、4: 非常に重大な損傷、5: 崩壊、で判定する

被災度判定
通常の建物

イタリア防災庁 (Protezione Civile)

被災度判定については、マニュアル化されている

Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AdDES)

旧市街地付近の被害の特徴
ラクイラ市街地

ローマ 95km
ラクイラ
半径500m

コッピート (Coppito)
パガニカ (Paganica)
ラクイラ 西インダー
ラクイラ 旧市街
オンナ (Onna)
オクレ (Ocre)

旧市街地付近の被害の特徴
立入規制区域

ラクイラ城
ドーム広場
学生寮
半径500m
500m

4/19(Sun.) 調査2日目
10:45 教会前広場着
11:40 学生寮着
11:50 出発

4/20(Mon.) 調査3日目
15:30 教会前広場着
16:50 学生寮着
17:10 出発

旧市街地付近の被害の特徴
調査対象地域

南西下り傾斜

ドーム広場
学生寮
200m

旧市街地付近の被害の特徴
ドーム広場

ドーム広場
教会ドーム
120m
80m

13世紀、16世紀の建築が立ち並んでいたが、痕跡なし

1927年に郵便局を作るために広場の一部の建物を壊す

旧市街地のドーム広場

ドーム広場の被害



広場東側の銅像(動いた形跡なし)



pavementに新しい割れ・浮き



地下駐車場入口

旧市街地のドーム広場

S. Maria del Suffragio教会(ドーム教会)

1713年に建設開始
1770年にファサード
1805年にドーム完成



ドーム

旧市街地のドーム広場

S. Maria del Suffragio教会の被害



崩壊したドーム(1805年完成)



教会からの落下物



ダボと接着モルタル

旧市街地のドーム広場

調査ルート 南西に下り傾斜



旧市街地のドーム広場

RCと組積造が混在、広場から傾斜



ドーム広場南西Piazza del Duomo



道路には傾斜あり、所々に落下物

Via dell' Arcivescovado

旧市街地のドーム広場

RC建物の壁仕上剥落



RC+組積壁



RCの柱



躯体の損傷なし



旧市街地のドーム広場

立入規制

路地



Via dell' Arcivescovado



Via San Marciano



Via Vetusti



Via Donadei

旧市街地のドーム広場

路地裏の広場に建つ組積造壁の崩壊



Piazza della Repubblica



組積造3F外壁



崩壊した壁材(レンガ・石)

旧市街地のドーム広場

政府関連施設(PLAZZO DEL GOVERNO)の2F崩壊



組積造2Fの崩壊



崩壊した壁(白色の石と土)

旧市街地のドーム広場

RC造の商業施設と行政関連施設



大断面で重厚な建物が多い



鉄骨連結部の損傷



鉄骨埋め込み部分



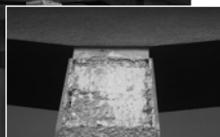
壁の水平ひび割れ

旧市街地のドーム広場

RC造の商業施設と行政関連施設



ピロティ形式の税務署



柱頭仕上げ剥落

旧市街地のドーム広場

組積造の被害



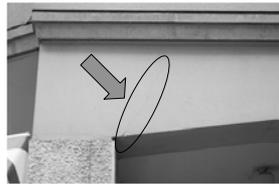
天然石と土による組積造

旧市街地のドーム広場

周辺RC建物の被害



隅角部の損傷



梁のひび割れ



柱部分の外壁せん断ひび割れ



隅角部の損傷と組積壁の崩落

旧市街地のドーム広場

周辺RC商業施設の被害



RC柱のフカン部(組積造)の損傷



仕上げ材の剥落



異なる梁せい

旧市街地のドーム広場

周辺RC商業施設の被害



映画館(柱脚にひび割れ)

旧市街地のドーム広場

周辺RC造の被害



11ガソリンスタンドのピロティ建物



1Fピロティ柱頭接合部の損傷



梁のせん断ひび割れ

旧市街地のドーム広場

周辺RC施設の被害



行政施設(無被害)



Exp.Jのあるホテル(柱脚の仕上剥落)

旧市街地のドーム広場周辺

RC学生寮の被害(地震直後)



La Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (ReLUIS)より



Google



旧市街地のドーム広場周辺

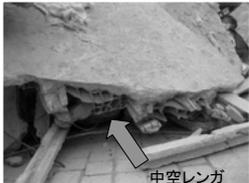
RC学生寮の被害(調査時)



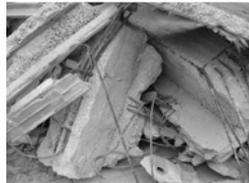
学生寮(2009/4/19)



崩壊したドーム



中空レンガ
崩壊現場前のスラブ



RC部材(せん断補強筋φ6@250)

旧市街地のドーム広場

周辺被害のまとめ

- RC造の商業施設や政府関連施設 →無被害/軽微
RC梁のひび割れ
RC柱頭・柱脚ひび割れ、仕上剥落
後積み組積壁の崩落、仕上剥落
- 組積造の商業施設や住宅、教会 →軽微/局部的崩壊
局部的な崩壊
仕上材の剥落
被害部分が明確(無被害or崩壊)
ひび割れorずれ→即崩壊
- その他
町全体を立入禁止とし、ひと気なし
余震対策よりも治安対策? 住宅被害?

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

調査対象地域



旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

構造形式



組積造(煉瓦+自然石)



RCフレーム+煉瓦壁
(隙間を設けて空洞煉瓦を2重に設置、)



空洞煉瓦の形状

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物①:RCフレーム+煉瓦壁、5階建て



倒壊した建物

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物①:RCフレーム+煉瓦壁、5階建て



基礎部においてシュミットハンマー調査



躯体に用いられている
鉄筋は丸鋼

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物②: RCフレーム+煉瓦壁、5階建て



建物の全景



仕上げ材の剥落や一部の煉瓦壁の崩落が目立つが、柱躯体のコンクリートの剥落は少ない



隅柱(短柱)のせん断破壊

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物③: RCフレーム+煉瓦壁、3階建て



建物の全景



長辺方向の被害



2階の短辺方向の壁が面外方向に傾斜



接合部の破壊状況

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物④: RCフレーム+煉瓦壁、6階建て



2階、3階の煉瓦壁が崩落



柱断面の変更部分

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物⑤: RCフレーム+煉瓦壁、6階建て



3階、4階での被害が目立つ

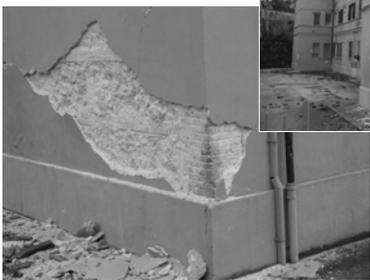
空洞煉瓦壁の損傷状況



旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物⑥: 組積造(レンガ+石)、3階建て

壁の被害



柱は煉瓦、壁は石積で約50cmごとにレベルをとるための煉瓦を挿んでいる

旧市街地付近のRCの建物の被害の特徴

建物⑦: RCフレーム+煉瓦壁、4階建て



建物の全景



壁の被害

被災度判定について(調査前情報)

4月14日までの累積

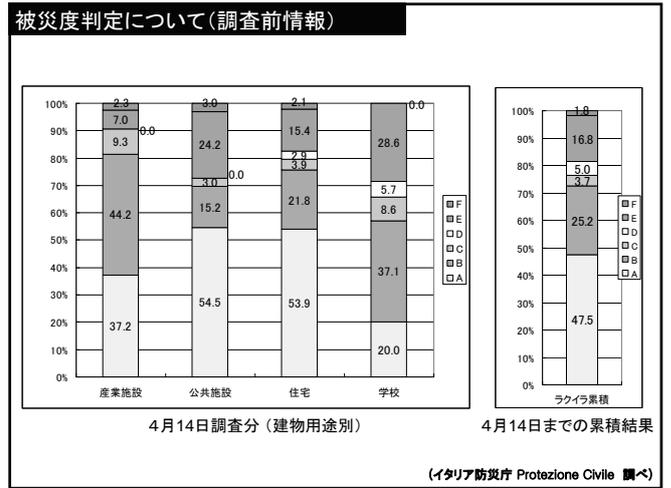
6段階の判定基準

- A: 使用可
- B: 応急復旧後 使用可
- C: 一部使用不可
- D: 応急復旧後 要再検討
- E: 使用不可
- F: 外部要因で使用不可

4月14日調査分

COINTE ESTATO	DESCRIZIONE	NUMERO DI STRUTTURE AFFETTI	NUMERO DI STRUTTURE AFFETTI (%)
A	STRUTTURE AGILI	10	0.0
B	STRUTTURE AGILIZZATE	10	0.0
C	STRUTTURE PARZIALMENTE DANEGGATE	10	0.0
D	STRUTTURE DANEGGATE	10	0.0
E	STRUTTURE DANEGGATE	10	0.0
F	STRUTTURE DANEGGATE	10	0.0
TOTALE		100	100.0

http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?cms_pk=15461&dir_pk=187 (イタリア防災庁 Protezione Civile)



被災度判定について(現地の様子)

「法律により立入りを制限する」という貼紙がちらほら...

大抵は街区ごと(道路を)テープで封鎖ちらほら...

→ 応急危険度判定の様に建物ごとに判定結果を明示している様子は見られない。

被災度判定について(現地の様子)

4月16日の判定結果地図の一部 (Protezione Civile支部にて)

- ▶ 無彩色部分については不明だが、中心街の立入りが厳しく規制されている現状から、判定作業が未着手であると思われる
- ▶ 右の地図のような個別建物の被災度判定結果は公表していない模様 (集計データのみ公表)
- ▶ 後日、個別建物の被災度判定結果を各建築主(住民)に送付する予定



被災度判定について(実際の判定作業)

建物基本情報 (住所・立地・平面計画)

構造形式

総合評価

構造部材の判定

非構造部材の判定

外周の判定

地盤・基礎の判定

階数・築年数・用途

被災度判定シート(住宅用)

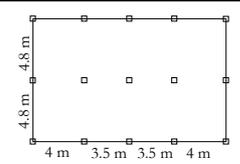
→ 1日講習を受けた建築士が判定作業を行う。

→ 住民からの聞き取り(入居率・住民数)

被災度判定について

建物①: RCフレーム+組積壁/3階建

1階層崩壊



柱: 主筋 4-D19/横補強筋 6φ@250)

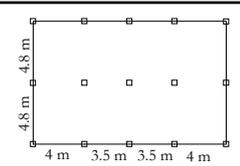


2階柱頭・接合部の破壊の様子

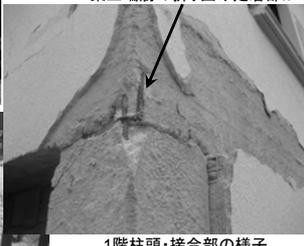
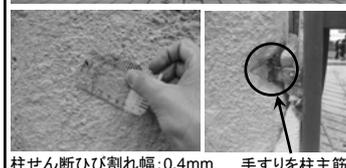
梁主筋に沿って付着ひび割れ(かぶり厚が少ない)

被災度判定について

建物②: RCフレーム+組積壁/3階建



梁上端筋の折り曲げ定着部か?



1階柱頭・接合部の様子

柱せん断ひび割れ幅:0.4mm 手すりを柱主筋に溶接

被災度判定について

建物③: RCフレーム+組積壁/4階建



建物内の組積壁崩落(柱の被害は小さい)



中空層を設けた組積造2重壁

被災度判定について

建物④: RCフレーム+組積壁/3階建



1階層崩壊



擁壁の倒壊/庭の盛土が崩落



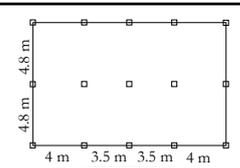
1階柱のあと

被災度判定について

建物⑤: RCフレーム+組積壁/3階建



立派なエントランス(ほぼ無被害)と被災建物



ジャンカ



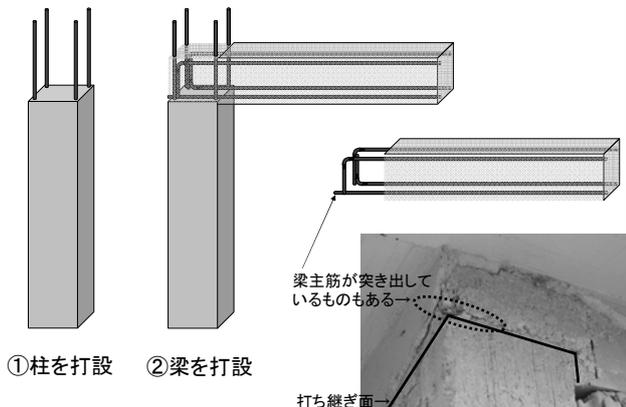
エントランス反対側(組積壁倒壊)



柱頭・接合部にひび割れ

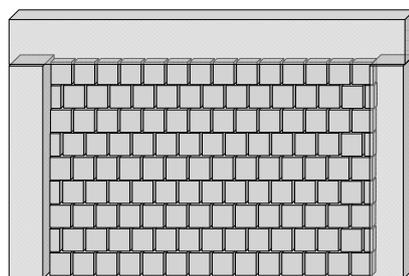
被災度判定について(破壊要因の推定)

柱頭打ち継ぎ施工



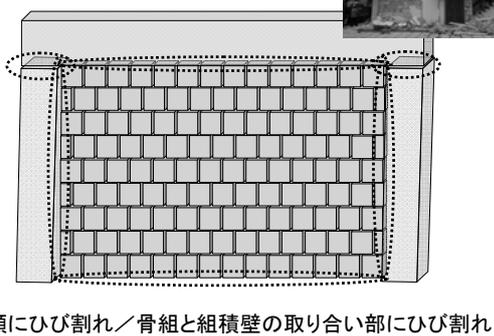
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



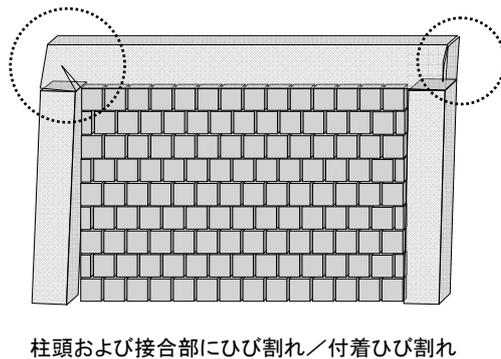
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



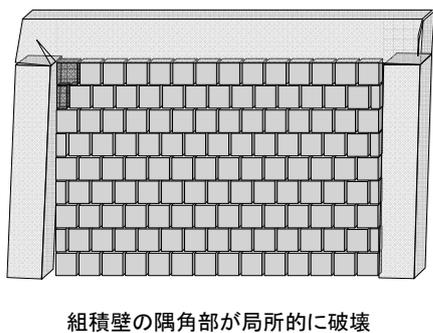
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



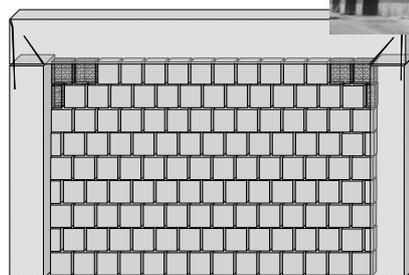
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



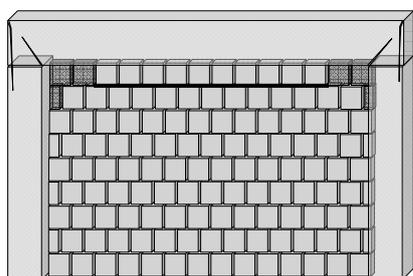
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



被災度判定について(破壊要因の推定)

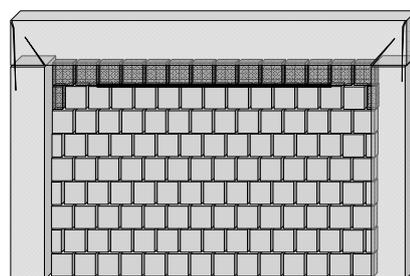
破壊のパターン(組積壁隅角部が局所破壊している場合)



スリップひび割れ(横目地)の早期進展

被災度判定について(破壊要因の推定)

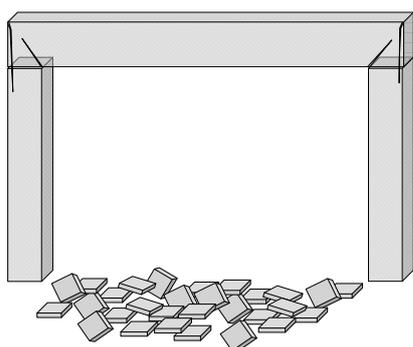
破壊のパターン(組積壁隅角部が局所破壊している場合)



上段組積体の破壊→背の高い腰壁状態に

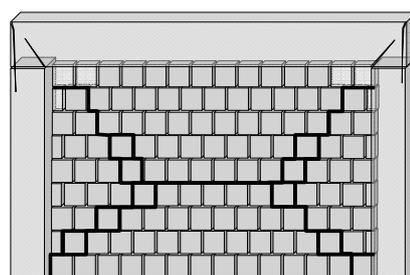
被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン



被災度判定について(破壊要因の推定)

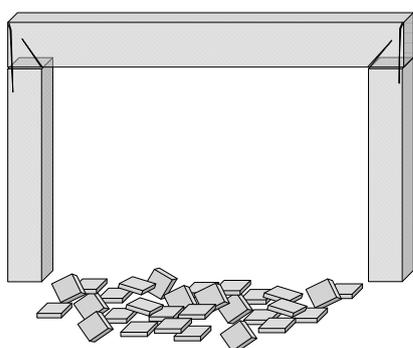
破壊のパターン(組積壁隅角部が局所破壊していない or 壁拘束する軸力高い場合)



せん断ひび割れ(階段状)+スリップひび割れ(横目地)の発生

被災度判定について(破壊要因の推定)

破壊のパターン

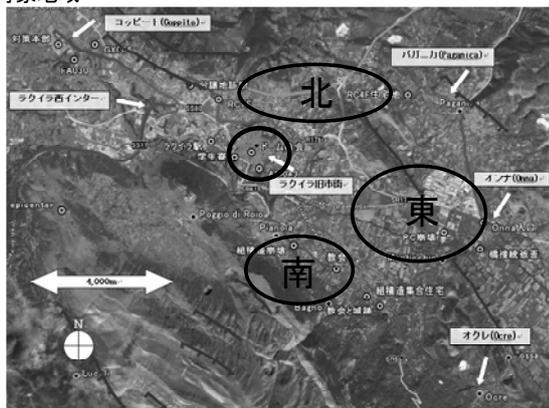


被災度判定について



旧市街地の周辺地域の建物の被害

調査対象地域



旧市街地の周辺地域の建物の被害

調査対象地域



市街地からみて南側のエリア(古からの集落群)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

調査対象地域



市街地からみて東側のエリア(平野)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

調査対象地域



市街地からみて北側のエリア(区画整理された敷地に並ぶ共同住宅)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



比較的急な斜面に点在する村

旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



斜面の麓(平野との境界位置付近)の組積造建物の損傷

旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



斜面の麓(平野との境界位置付近)の建築中のRC造建物の損傷

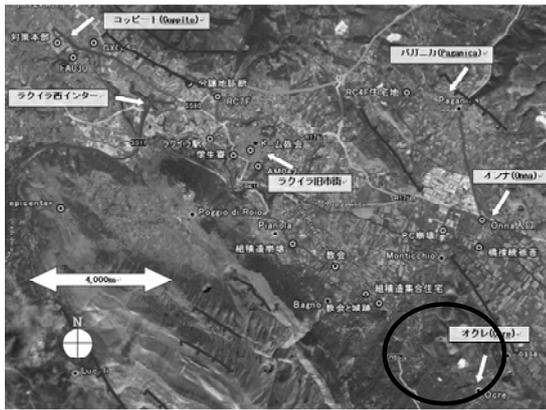
旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



修理中の建物と屋根飾り(煙突?)

旧市街地の周辺地域の建物の被害



旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



斜面を登ってオクレ村に向かう途中のRC造建物

旧市街地の周辺地域の建物の被害

南側のエリア



オクレ村は立ち入り禁止状態

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



南側エリアより東側エリアを望む

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



ONNAへ入るための橋付近の地割れ

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



ONNA(被害率は90%とも言われている)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



ONNA付近の共同住宅(RC)は被害のないものも多い

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



PC鋼棒が未挿入だった模様
被害はこの建物のみ

ONNA付近のPca造の工場(倉庫? : 施工中)の被害

旧市街地の周辺地域の建物の被害

東側のエリア



Pganica(被害を受けた教会とその周辺)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

北側のエリア



土地は区画整理がなされており、中低層の共同住宅が整然と並ぶ

旧市街地の周辺地域の建物の被害

北側のエリア



ブロック、レンガ壁の典型的な損傷例

旧市街地の周辺地域の建物の被害

北側のエリア



共同住宅1階柱頭(中柱)付近の損傷

旧市街地の周辺地域の建物の被害

北側のエリア



共同住宅(1階短柱の損傷、柱頭の損傷)

旧市街地の周辺地域の建物の被害

北側のエリア



倒壊した建物

被災する前
(Google Map)



旧市街地建物の被害

周辺道路からみた市街地北側の住宅



共同住宅郡(旧市街地内の進入禁止区域を外側道路より撮影)

旧市街地建物の被害



共同住宅郡(旧市街地内の進入禁止区域を外側道路より撮影)

旧市街地建物の被害

周辺道路からみた市街地北側の住宅



共同住宅郡(旧市街地内の進入禁止区域を外側道路より撮影)

被災地の建物について

- ・組積造建物、鉄筋コンクリート造建築が大半を占める。

(鉄筋コンクリート造建築について)

- ・階数は1～3層程度のものが主流、一部の地域で商業施設、共同住宅で6～7層程度のものが存在
- ・基本的には、骨組み架構+レンガ、ブロック壁
- ・レンガ、ブロック壁に補強筋は施されていない
- ・使用されている鉄筋は丸鋼(被災を受けたものだけからの判断)
- ・一般に、かぶり厚が非常に小さく、発錆が多数みられた
- ・せん断補強筋はかなり少ない($\phi 6$ 程度が250mmピッチ)
- ・主筋定着が不十分なものが多い(施工精度が悪いことも原因)

>被害について

- ・仕上げモルタル、タイルの剥落を含めればかなりの数の建物が被害をうけている。
- ・倒壊に至った建物はあるが、大破、中破の建物は少ない。
- ・レンガ、ブロック壁が崩落している場合でも、骨組みの損傷は小さい場合がかなり多い。