

2016年4月29日

April 30, 2016,

Progressive report on damage survey after 2016 Kumamoto Earthquakes

by

Toshimi Kabeyasawa, ERI, University of Tokyo

Toshikazu Kabeyasawa, Tokyo Metropolitan University

Shunichi Igarashi, Structural Quality Assurance, Inc.

Partial English translation was added by Toshimi Kabeyasawa, April 30 version, to:

平成 28 年（2016 年）熊本地震被害調査速報（Japanese version）

調査日：2016年4月25日（月）Date of survey: April 25, 2016

調査者：壁谷澤寿海 東京大学 地震研究所災害科学系研究部門 教授

壁谷澤寿一 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 建築学域 准教授

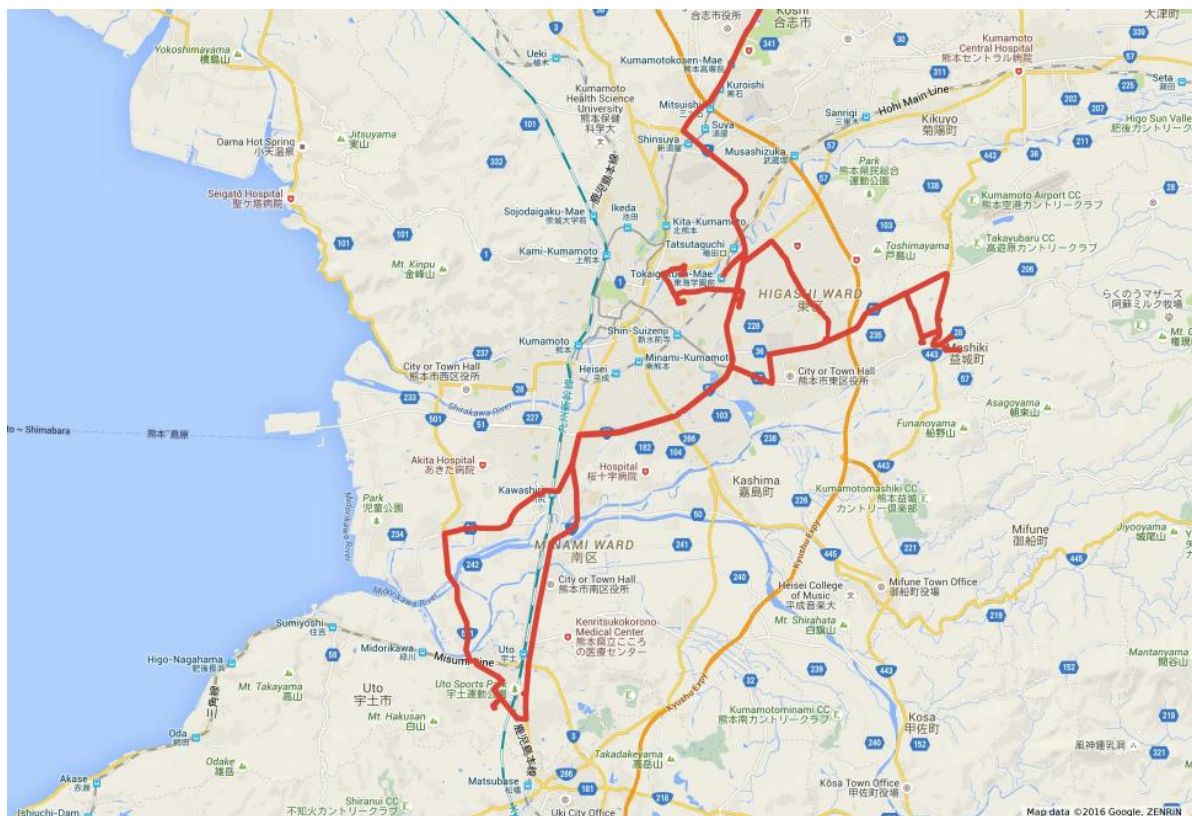
五十嵐俊一 構造品質保証研究所株式会社 代表取締役社長

調査目的：平成 28 年（2016 年）熊本地震による耐震補強建物の被害状況の把握

Objective: Survey on damages, esp, to RC structures with seismic strengthening

調査地域：熊本県熊本市、益城町、宇土市 Area: Kumamoto-city, Masiki-town, Uto-city

Route Map



調査行程(Time record of survey)

4/25	5:00	Fukuoka	
	6:42	Ueki-IC	
	9:00	Mashiki city hall	1
	9:40	Mashiki fire department	2
	9:50	K Junior high school	3
	11:50	Uto-city provided house	4
	12:25	Uto city hall	5
	14:35	TK University	6
	15:20	O elementary school	7
	16:00	KG University	8
	16:45	K University	9
	18:30	Ueki-IC	
	20:00	Fukuoka Airport	

【注意事項】 note

被害概要は外観から目視により判断した結果である。

The damages were observed mainly from outside of buildings.

本地震により被災された皆様に心よりお見舞いを申し上げますとともに、一刻も早い復興をお祈り申し上げます。また、本調査にご協力いただいた皆様に深く御礼申し上げます。

1. M 役場(Mashiki city hall, constructed in 1980)

住所：熊本県上益城郡益城町宮園

規模：RC 造地上 3 階建て

用途：庁舎

竣工年：1980 年 (定礎による)

被害概要：

渡り廊下（片持ち突出部）先端の支持柱の柱頭部・柱脚部の曲げ圧縮破壊，渡り廊下外壁のせん断破壊、EV 棟屋根のずれ，柱のせん断ひびわれ、耐震壁のせん断ひびわれ、外付け補強フレームのひび割れ、周辺地盤のずれ、沈下

Outline of damages:

Shear failure of external walls and flexural/axial failure of support columns of connecting corridor on north side, sliding of roof elevator shaft, shear cracking of columns and walls, cracking of external strengthening frame and connecting beams, deformation and settlement of surrounding soils,

応急危険度判定：危険

- ・ 渡り廊下は RC 造建築物の突出物であり，2 階窓開口部のひび割れは沈下により，柱頭の損傷は面外方向の変形により生じたと考えられる。渡り廊下の損傷した柱の傾斜角は約 $1/38(\text{rad})$ であった。
- ・ 外付け補強フレームが取り付く梁のせん断ひび割れ、渡り廊下のせん断破壊は、本庁舎の張間方向の変動軸力により生じたと考えられる。
- ・ 柱主筋は 3-D25，フープは D10 フープ D10@100、90 度フック、内法高さ約 4m，張出し長さは 5.0m，張間スパンは 2.5m であった。

被害原因分析の観点：

外付けフレームによる補強の有効性、スラブによる応力伝達、突出部架構への入力あるいは捩れ応答、地盤増幅、地盤変状、新築時に対する補強の効果、補強後の耐震性能などを入力や目標を再精査する必要があると思われる。（既報告があるので、詳細は省略）

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Effectiveness of strengthening frames, shear transfer of slab, design earthquake forces to projecting part, torsional responses, site amplification of ground motions due to soft soils, objective seismic index for seismic strengthening of evacuation centers



庁舎外観 Overview



渡り廊下外観 Connecting corridor



渡り廊下の損傷状況 Damages of support columns



EV 棟の被害 Elevator shaft



応急危険度判定 Post-earthquake safety evaluation (Red: danger and evacuated)



外付けフレームのせん断ひび割れ Shaer cracking of added external frames



益城町役場（外付け補強フレーム） Overview with added external frames



益城町役場（渡り廊下の（鉛直）せん断破壊） Shear failure of corridor



M 役場（耐震壁のせん断ひびわれ） Shear cracking of wall



M 役場（補強フレームつなぎ梁のせん断ひびわれ） Shear cracking of connecting beams



Kabeyasawa, T. 2016-4-25

M 役場（周辺地盤の変状） deformation and settlement of surrounding soils,



Kabeyasawa, T. 2016-4-25

M 役場（周辺地盤の変状） deformation and settlement of surrounding soils,

2. M 消防署 訓練棟(Mashiki fire department, 1998)

住所：上益城郡益城町

規模：RC 造地上 5 階建て

用途：訓練施設

竣工年：1998 年頃(署員ヒアリングによる)

被害程度：撤去済

被害概要：

・火の見櫓（4 本柱）の中間層が層崩壊し、大変形が残留する倒壊に近い被害であったが(4/17)、本調査時にはすでに取り壊されていた (4/25)。建物本体はほぼ無被害

Outline of damages:

Story failure with large residual displacement at third story of five-story and four-column tower frame, which had been demolished on April 25

被害要因分析の観点：

塔上建物の必要保有水平耐力、非構造部材の剛性分布への影響、水平 2 方向外力の影響

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Required lateral capacity of tower frame, effect of spandrel walls on stiffness distribution or change of failure mode in open frames



訓練施設 建設地点 Demolished trace



4/17 動調査時 Surveyed on April 17



本体建物 1 Main building 1



本体建物 2 Main building 2

3. K 中学校 (K Junior high school, 1981-1983)

住所：熊本県上益城郡益城町

規模：RC 造地上 2 階建て(南側校舎), RC 造地上 3 階建て(北側校舎)

用途：学校

竣工年：1981 年竣工 (南側校舎, 定礎による)

耐震補強工事(北側校舎, HP による)

1983 年竣工 (体育館, HP による)

被害概要：軽微なひび割れ (校舎)、1 階柱頭柱脚の曲げ破壊 (渡り廊下), 耐震補強ブレースの座屈 (体育館)

- ・大きく傾斜した渡り廊下では柱脚部で鉄筋が破断していた。
- ・耐震補強した鉄骨ブレースの裏側で縦にひび割れが生じていた。
- ・体育館の応急危険度判定は要注意であった。

Outline of damages:

Near collapse of connecting corridor with large residual deflections

被害要因分析の観点：

渡り廊下の耐震診断指標 (とくに剛性率) の算定法、判定指標の算定法 (本校舎が耐震補強済であることから耐震診断により補強不要と判断されたと推定される)

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Required lateral capacity or shape factor of corridors, required seismic performance of school buildings as evacuation center



校舎外観 Overview



渡り廊下外観 Connecting corridor



耐震補強ブレース接合部のひび割れ
Cracking around braces



応急危険度判定(体育館) Yellow for main
building



渡り廊下 主筋破断
Break of main bars



渡り廊下 EXP.J のずれ
Large displacement



K 中学校（渡り廊下1） Damages to Corridor 1



K 中学校（渡り廊下 1） Damages to Corridor 1



K 中学校（渡り廊下 2） Damages to Corridor 2

4. 宇土市営団地 (Uto city provided house, 1998, current code)

住所：熊本県宇土市入地町

規模：RC 造地上 4 階建て

用途：集合住宅

竣工年：1998 年頃(宇土市ホームページによる)

被害概要：ピロティ柱の柱頭曲げ破壊、2 階非構造壁のせん断破壊

Outline of damages:

Flexure or axial failure at the top ends of pilotis columns in current code specified buildings

- ・新耐震基準による純ピロティ建築物
- ・ピロティ階の柱頭がすべて曲げ破壊し、柱主筋が一部破断している。
- ・桁行方向は外部階段、張間方向は外端構面外、柱型のない連層壁があるが、端部で圧縮破壊、主筋座屈、面外曲げひび割れ等がみられたが、ピロティ柱の大変形に追従するほどではないと推定される（回転変形またはスラブ変形か）
- ・周辺地盤で噴砂と思われる形跡があった。
- ・同じ敷地のほかの棟はピロティ構造ではなく、継続使用されており、外観ではほぼ無被害の様であった。
- ・柱 700×700 mm, はりせい 500mm, 内法高さ 2.78m,
- ・柱主筋は D22 が 3 本または 4 本, 帯筋は D13@100
- ・建築面積としては 50m×12m 程度, 桁行 10 スパン (構面外壁を除く), 張間 1 スパン
- ・桁行スパン 7m, 張間スパン 8m
- ・構面外壁の面外曲げひび割れ, 端部縦筋(D16)が座屈している

被害要因分析の観点：

ピロティ構造の設計法、非構造壁の影響、ピロティの必要保有水平耐力、構面外連層壁のせん断力負担

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Design method or required capacity for pilotis or soft-first story frames, Effect of non-structural walls to stiffness distribution or failure modes, shear carried by multi-story walls without boundary columns and located out of main frame

(Comments in English version: The current codes had been enhanced or restricted for pilotis-type structures after the experience of the 1995 Kobe earthquake, though it is not clear whether the enhanced codes were applied to this buildings or not.)



建物外観 Overview



建物外観 Overview



純ピロティ構面の被害 Damages



柱頭の損傷 (主筋破断) Break of main bars



直交壁の面外ひび割れ Cracking



付着破壊した柱 Bond failure



構面外壁の端部筋の損傷 Crushing of wall



2階方立壁の損傷 Shear cracking



敷地内のほかの集合住宅 1 Other buildings in use



敷地内のほかの集合住宅 2



宇土市営団地（北側全景） Overview from north



宇土市営団地（南側全景） Overview from south



宇土市営団地（周辺地盤の噴砂） Trace of sand boiling at neighborhood ground



宇土市営団地（柱の付着破壊） Bond failure



宇土市営団地（ピロティ柱頭の破壊） Colum top failure



Kabeyasawa, T, 2016-4-25

宇土市営団地（柱頭の破壊） Close-up to column top failure



Kabeyasawa, T, 2016-4-25

宇土市営団地（柱頭の破壊） Close-up to column top failure



宇土市営団地（2階非構造壁のせん断ひびわれ） Shear cracking at non-structural wall in the second story

5. 宇土市役所(Uto city hall, 1965)

住所：宇土市

規模：熊本県宇土市浦田町

用途：庁舎

竣工年：1965年頃（宇土市ホームページの資料より）

被害程度：4階局部層崩壊、柱梁接合部の破壊

Outline of damages:

Collapse at four story, joint failure at beam-column connections

- ・ 建築物近傍まで立入り、接合部の損傷状況を記録した
- ・ セットバックしている2階柱脚部分の損傷状況を記録した



庁舎外観 Overview



バルコニーを支える斜め梁の損傷 Damage to beam in out frame at balcony end



損傷した接合部の拡大写真
Joint failure



2階柱脚部分の損傷
Second story column base



宇土市役所 Overview



宇土市役所（柱梁接合部の破壊） Joint failure

6. O-小学校 (O-elementary school, 1956, retrofitted a few years ago)

住所：熊本県熊本市中央区

規模：RC 造地上 3 階建て(校舎)、渡り廊下、体育館

用途：学校

竣工年：1956 年頃，屋根改修工事 (体育館)

被害程度：体育館屋根ブレースのボルト破断、校舎 EXP.J の被害

Outline of damages:

Break of connections at the ends of roof braces, Damages to expansion joint

(校舎)

- ・ 校舎をブレースにより補強している。
- ・ エキスパンションジョイントが変形しているが、3 階建て渡り廊下棟の柱脚には損傷が見られなかった。

(体育館)

- ・ 既存屋根ブレースの端部ボルト部分が破断している
- ・ 屋根葺き替え時に旧来の屋根ブレース(ターンバックル D16)を端部のみ新規のアングル天井撤去工事の際に一部屋根ブレースに取り換えている (校長談、古い詳細にもみえた) が、端部のアングル材屋根ブレースについても座屈が生じていた。
- ・ 水平ブレース(ターンバックル D22、おそらく補強材)については損傷が見られなかった。
- ・ 14 日の地震直後には避難所に使用しており、被災者でほぼ満杯あったが、15 日には大部分の方が自宅に戻ったため、16 日の大地震時には入口付近ごく一部のみ使用しており、ブレース端部ボルトの落下による被災は運よく免れた。
- ・ 柱スパンは 4.6m, 水平ブレース高さは 3.08m, 屋根ブレース高さは約 4m であった。

被害分析の観点：

(避難所としての) 体育館における水平ブレース、鉛直ブレースの必要耐震性能、端部詳細

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Design requirement on braces of steel gymnasiums for evacuation building

The gymnasium had been retrofitted a few years ago, mainly to remove the ceiling against falling failure, including change of braces. However, the gymnasium was not functional due to the failure of braces. The gymnasium was full with suffered people on the first night after the first shock on April 14, then most of the people had been back to their homes at the second shock on April 16. It was lucky that no one was injured due to the falling of bolts because there were not many refugees left in the gymnasium at the second main shock just by chance.



校舎外観



体育館内観



EXPJの被災状況



座屈したアングル屋根ブレース



ボルト破断した既存屋根ブレース



既存の水平ブレース



体育館 Gymnasium used for stock spaces under broken and hanging braces



体育館（屋根ブレース端部、他端接合部ボルト破断） Break of roof braces



体育館（既存ブレースと補強ブレース） Old and retrofitted vertical braces

7. TK University, (Main building, 1980, retrofitted with external braces and polyester sheet)

住所：熊本県熊本市東区渡鹿

規模：RC 造地上 6 階建て 耐震補強済

用途：校舎

竣工年：1980 年 (定礎による)

被害程度：壁や短スパン梁に軽微なひび割れ

Outline of damages:

Slight cracking in walls and short span beams, slight to structures though unfixed bookshelves fallen down

- ・外付け耐震補強ブレースおよび一部下階壁抜け柱は繊維補強シートにより耐震補強されている。
- ・腰壁つき梁，短スパン梁にひび割れ，耐力壁は収縮目地にそったひび割れが生じていた。
- ・既存耐震壁の最大残留ひび割れ幅は 0.3mm 程度
- ・書棚が転倒している。

(被害分析の観点)

下階壁抜け柱に作用する圧縮軸力・シート補強の効果、既存耐震壁がある場合の外付けブレースの補強効果・耐力壁とブレースのせん断力分担

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Varying axial load acting on independent column supporting multi-story walls interrupted at second story

Effect of sheet-strengthening on axial capacity of independent columns

Effect of external brace strengthening on RC structure with existing walls and shear distribution between the braces and the walls



校舎外観



SRF シートによる補強



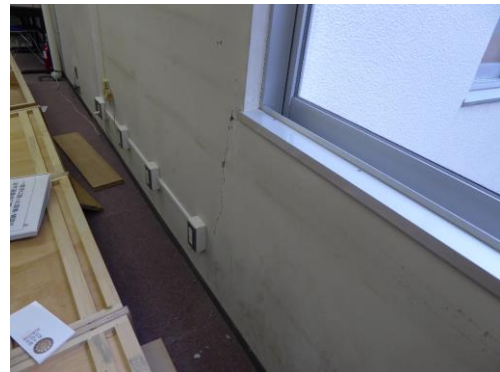
壁収縮目地でのひび割れ



書棚の転倒



短スパン梁のひび割れ



腰壁つき梁のひび割れ



本館（ポリエステル補強の下階壁抜け柱）

First story column under interrupted multi-story walls strengthened with polyester sheet and appears to be no damage with finishing



本館（桁行補強ブレース） Steel braces in longitudinal direction



本館（張間補強ブレース） Steel braces in span direction

8. KG 大学(KG University, 1982, retrofitted with external braces and polyester sheet)

住所：熊本県熊本市中央区

規模：研究棟 RC 造地上 5 階

食堂 RC 造地上 4 階

用途：校舎

竣工年：1982 年（研究棟）（定礎による），不明（食堂）

被害程度：間柱のせん断ひび割れ(校舎 1)

Outline of damages:

Shear cracking to short columns in new code specified building (RC 5-story)

Slight damages to old retrofitted buildings (RC 4-story)

(研究棟) five-story RC

・新耐震基準で設計された校舎の多くの短柱（間柱）でせん断ひび割れ（被災度 III 程度、タイル仕上げであるため構造体の被害は外観からはわかりにくい）が見られた。梁は水平開口により 2 段の断面になっている。

(食堂) four-story RC

- ・腰壁付き短柱を繊維補強シート，外構面を鋼管ブレースにより補強している。
- ・目立った損傷は見られなかった。タイルにより仕上げしている。

(その他)

- ・耐震補強された体育館には立ち入りできなかった

（被害分析の観点）

短柱に対するポリエステル繊維による補強効果、損傷防止の効果

2 次設計の方法、短柱、変断面梁の部材ランクの判定、保有水平耐力の算定法

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Effect of polyester sheet strengthening on control of damages to short columns

Requirement on short columns in the current design code of practice

Deformability rank evaluation for members with irregular cross sections in the current design code



校舎外観 (校舎1)



校舎外観 (校舎2)



3階間柱のせん断ひび割れ



1階間柱のせん断ひび割れ



耐震補強された体育館



食堂棟（ポリエステル繊維で補強された短柱） No damaged short columns retrofitted with polyester sheet



研究棟（新耐震以降の設計） Overview of five-story building conforming the current code



研究棟（短柱のせん断破壊） Shear failure of short column in the new building

9. K 大学(K-university,

Shared building, strengthened with braces and polyester sheet,

No.1 building, strengthened with braces and carbon fiber sheet

住所：熊本県熊本市中央区

規模：共用棟 RC 造地上 6 階建て 工学部 1 号館 RC 造地上 6 階建て

用途：校舎

竣工年：不明

被害程度：柱のせん断ひび割れ，腰壁の水平ひび割れ，構面外壁の縦筋座屈

(共用棟) Shared building

- ・ 長柱をポリエステル繊維補強シート，外構面をブレースにより補強している。
- ・ エキスパンションジョイントが損傷しているが、継続使用可能。

The shared building had been strengthened with steel braces to external frames and partially eight columns with polyester sheet. Slight damages were observed at expansion joint, though continuous use was basically available after the second main shock.

(工学部 1 号館) No.1 Building

- ・ 炭素繊維シート，外構面を鋼管ブレースにより補強している。
- ・ 腰壁中央位置に水平のひび割れが生じている。
- ・ ブレースの塗装が若干剥がれている。
- ・ 2 階柱においてせん断ひび割れが生じている
- ・ 被災により継続使用不可。1 階が施設管理関係者で損傷被害をみて、ほかの棟に移動していた。

The No.1 building, had been strengthened with steel braces to external frames and carbon fiber sheet. Obvious shear cracking was observed in the second story columns, so that continuous use was not available after the second main shock. The facility administration office had been located at the first floor, though they had to move to temporary rooms in another building after the judgement on damage levels at post-earthquake evaluation.

(被害分析の観点)

補強ブレースの耐力累加効果、損傷防止効果

Design issues and causes of damages to be analyzed:

Effect of braces or accumulated retrofit strength on control of damages to columns



共用棟黒髪3（ブレース+ポリエステル繊維補強）

The shared building strengthened with braces and polyester sheet



共用棟黒髪3（補強ブレース）

Steel braces used for strengthening the shared building



共用棟黒髪3（ポリエステル繊維補強柱）
Column strengthened with polyester sheet without damages



工学部1号館（ブレース+炭素繊維補強）
No. 1 building with steel braces and carbon fiber sheet



Kabeyasawa, T, 2016-4-25

工学部 1 号館（柱のせん断ひびわれ）

Shear cracking observed in the second story column of the No.1 building



校舎外観（共用棟）



耐震補強ブレース



EXPJ の損傷



校舎外観（工学部 1 号館）



耐震補強ブレース



補強構面腰壁の水平ひび割れ



耐震補強ブレースの塗料剥がれ



構面外壁の損傷



2階柱のせん断ひび割れ

その他 外観調査のみの被害



熊本市 RC13階集合住宅の非構造壁損傷



熊本市 病院の外壁（方立壁）の損傷



熊本市 外壁材の脱落



熊本市 天井の脱落被害



熊本市 全面窓ガラスの破損



益城町 軽量鉄骨住宅（危険）



益城町 電柱の傾斜



益城町 住宅の傾斜



宇土市 RC造橋脚 (無被害)



応急危険度判定士



応急危険度判定士の判定作業
Post-earthquake safety evaluation