

地震工学(第7回)

内陸直下・活断層帯の地震被害

1999年台湾集集地震

2011年福島県浜通り地震

2016熊本地震

建築学部まちづくり学科
久田嘉章

地表断層近傍の建物悉皆調査

1999年台湾・集集地震

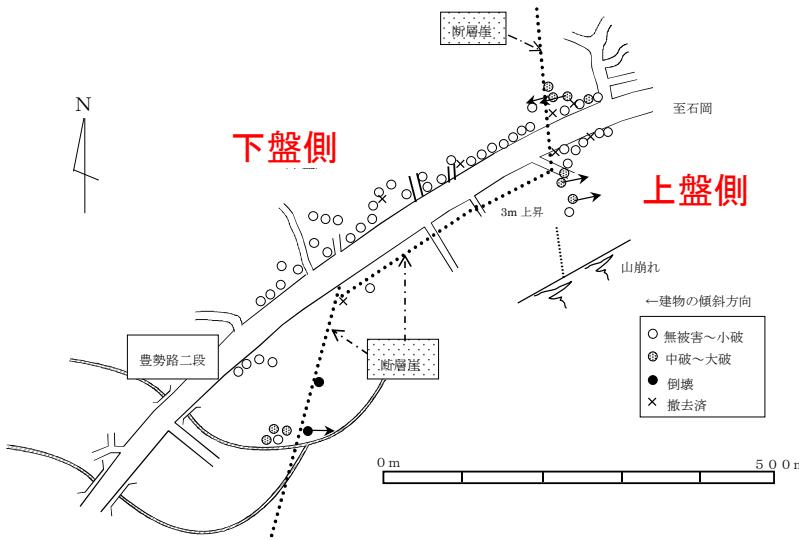


1999 Chi-Chi Earthquake
(from Web Page of Nihon University)

- ① 豊原市北東部 (石岡に近い3号線沿い)
- ② 豊原市の中正公園付近
- ③ 台中市東山 (軍功小学校付近)
- ④ 太平市西部 (一江橋付近)

1999年台湾集集地震 被害調査報告書
(日本建築学会、2000)

① 豊原市北東部 (Northeast of Fengyuan city)





豐原市1(現在)
Google Street View
(2009/10)



https://www.google.co.jp/maps/@24.2764301,120.7587498,3a,75y,335.17h,103.18i/data=!3m6!1e1!3m4!1s_aliEKBHzJQFDqQbgUJQl2e0!7!13312!86656



② 豐原市中正公園付近
(Around Chung Chen Park, Fengyuan city)



中正公園付近(現在)
Google Street View
(2009/10)



<https://www.google.co.jp/maps/@24.2553847,120.7450295,3a,53.4y,59.39h,103.39i/data=!3m6!1e1!3m4!1sRKzIzyUIA3WfSTIxQAZOQl2e0!7!13312!86656>

中正公園付近（現在）
Google Street View
(2010/2)



③台中市東山
(Tung-shan road, Taichung city)



軍功小学校付近
(現在:921地震公園)
Google Street View
(2009/9)



<https://www.google.co.jp/maps/@24.176987,120.7338349,3a,75y,2.81h,100.76!data=3m6!1e1!3m4!1sWOLG6Jl2FEmVMyfAG830A!2e0!7i13312!8i6656>

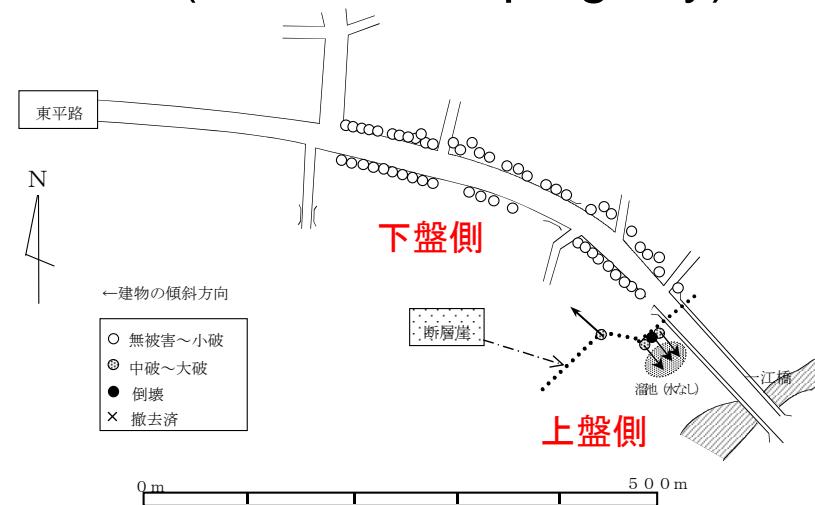


軍功小学校付近
(現在:921地震公園)
Google Street View
(2016/6)



<https://www.google.co.jp/maps/@24.1770049,120.7338662,3a,75y,2.81h,100.76/data=!3m6!1e1!3m4!1sapq110foSMV3-sSudk-zMQI2e0!7!13312!8!6656>

④太平西部 (West of Tai-ping city)

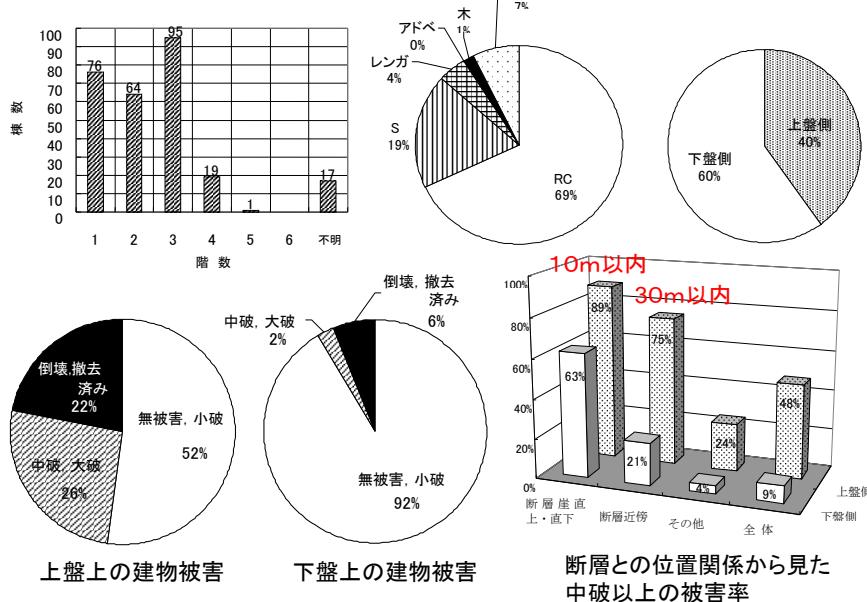


大平・一江橋付近
Google Street View
(2009/11)



https://www.google.co.jp/maps/@24.1327538,120.7353386,3a,49.9y,282.35h,106.61!data=!3m6!1e1!3m4!1ss7uUMka90r_GhORVbCtJA!2e0!7!13312!8!6656

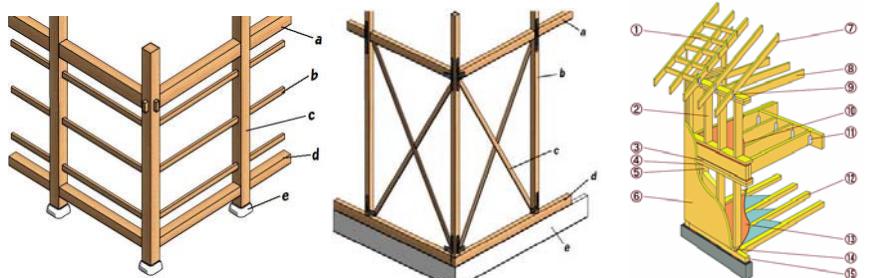
全戸調査結果(断層近傍)



木質系住宅の構造と耐震性

- ・**伝統工法**: 釘・金物は使わない柔構造で、地震力を受け流す。大変形でも修復性が高いが、現在では地震後の継続使用性に難点有り
- ・**在来工法**: 柱・梁・土台で軸組で構成、筋交いや構造用合板と金物等で十分な水平剛性を確保すれば耐震性は高い。できれば構造計算を！
- ・**2x4工法、木質系プレハブ工法など**: 規格化された壁式工法で、品質が保証されており、耐震性能は非常に高い。

⇒ **耐震等級はⅠ(基準法)より、Ⅱ(基準法の1.25倍)、Ⅲ(同1.5倍)を！**



日本の伝統工法(柔構造) 木造軸組工法/在来工法(剛構造) 木造枠組壁工法/2x4工法
a=梁 b=貫 c=柱 d=床梁 e=束石 a=梁 b=柱 c=筋交い d=土台 e=基礎 (剛構造)

引用：<http://www.wb.commuufa.jp/kazuya/sub8.html>

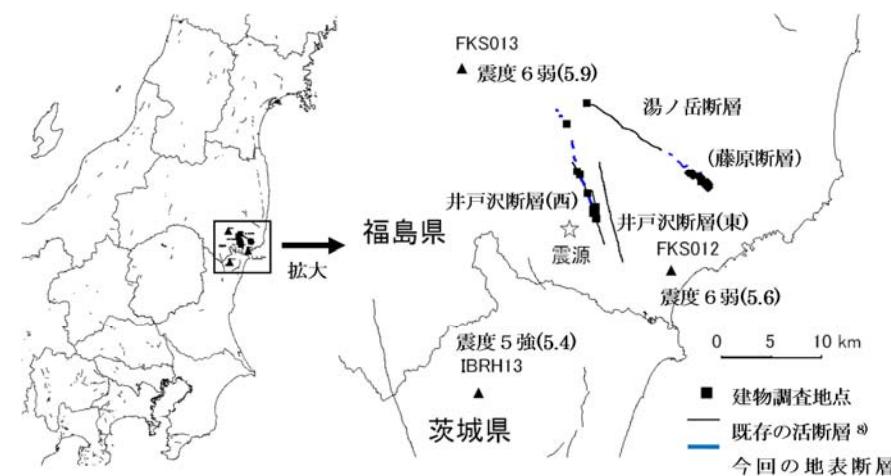
<http://www.d-a-h.com/iedukuri>

木質系建物の耐震既定の変遷

(ホームズ君良く分かる耐震:<http://jutaku.homeskun.com/taishin/>)

- ・市街地建築物法施行(1920):耐震規定なし
- ・市街地建築物法改正(1924):耐震規定導入
震度法(設計震度0.1)、木造住宅:筋違など
- ・建築基準法施行(1950):施行令に構造基準導入
震度法(設計震度0.2)、木造住宅:壁量規定など
- ・建築基準法改正(1959):壁量規定強化など
- ・建築基準法・施行令改正(1971):RC造柱強化など
木造住宅:基礎とC造またはRC造の布基礎とすること、など
- ・建築基準法・施行令改正(1981):新耐震設計基準
木造住宅:壁量規定改定、構造用合板など面材壁追加
- ・建築基準法改正(1987):木造3階建物可能
- ・建築基準法改正(1995):接合金物等の奨励
- ・建築基準法改正(2000):木造住宅では、
 - 1)地盤調査を義務化、地耐力に応じた基礎を特性(30kN未満では杭基礎 or べた基礎)、2)継手・仕口の仕様を規定(接合部金物・ホールダウン金物など)、3)耐震壁配置のバランス計算義務化
- ・品確法(2000)、性能表示制度(2001):耐震等級など
- ・住宅瑕疵担保履行法(2009):現場検査(基礎・躯体)の義務化

2011年4月11日福島県浜通の地震による 地表断層近傍の強震動と建物被害調査



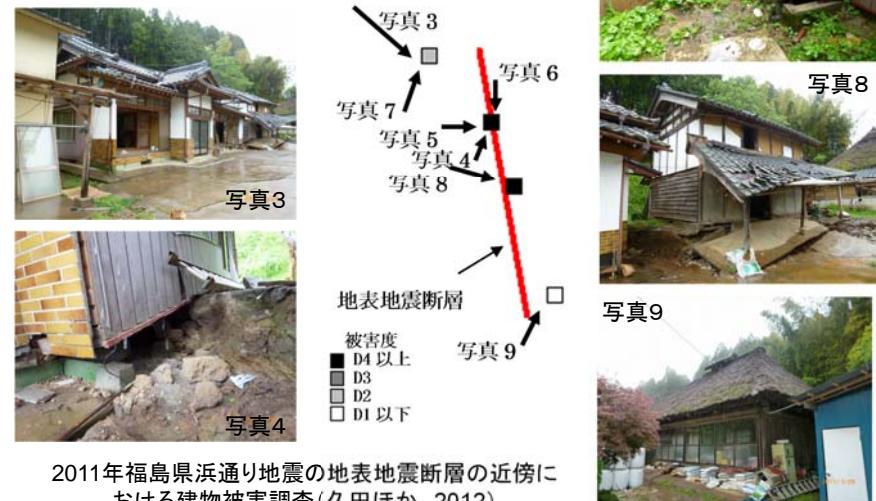
地表断層の近傍で194棟の建物と強震動特性などの調査

建物被害調査の項目(概観目視を基本)

調査項目：築年（新しい・10年程度以内、古い・10～30年程度、非常に古い・30程度以上）、構造（木造・S造・RC造）、階数、用途（戸建住宅・共同住宅・オフィスなど）、基礎（独立・布・べた基礎）、屋根（瓦・金属など）、地盤変状有無など

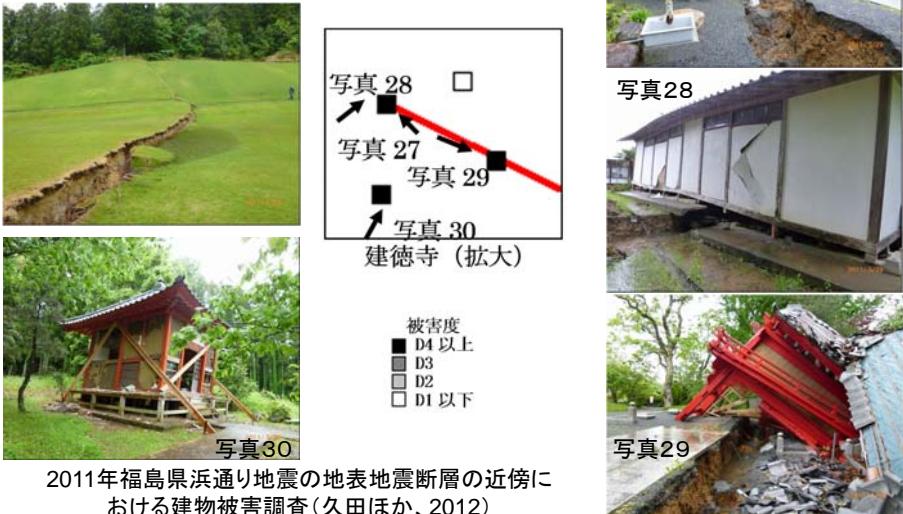
| 建物被害度 | | Damage Grade | Damage Index | 被害状況 | 建物被害度 |
|-------|------|--------------|--------------|---|-----------------|
| D0 | 無被害 | D0 | 0.0 | 無被害 | Nd0 |
| D1 | 軽微 | D1 | 0.1 | 壁面の剥落及び外壁材の若干の剥離。 | Md1 |
| D2 | 一部損壊 | D2 | 0.3 | 屋根瓦、壁面のセメント系等の局部的な剥離。 | Md2 |
| D3 | 半壊 | D3 | 0.5 | 2階壁等 1階壁等 全体倒壊型 壁根倒壊型 | Ud3 Gd3 Ed3 Rd3 |
| D4 | 全壊 | D4 | 0.7 | 2階の柱、壁等の外壁材 により、内部空間が 倒壊する。 | Gd4 Ed4 Rd4 |
| D5 | 倒壊 | D5 | 0.9 | 2階の柱等の外壁材、 SL柱等の内壁材等 により、内部空間 が倒壊する。 | Ud5- Gd5- Cd5- |
| D6 | 完全崩壊 | D6 | 1.0 | 2階の壁等が倒壊している様 に見える。 木造2階建の建物の破壊パターン | Cd6- Cd6+ |

2011年福島県浜通り地震における 地表地震断層直上の建物の被害例 (正断層:字塩ノ平)



2011年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査(久田ほか、2012)

2011年福島県浜通り地震における 地表地震断層直上の建物の被害例 (正断層:いわき市内)



2011年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査(久田ほか、2012)

福島県浜通り地震の被害調査 (田人町:田人中学校)



2011年福島県浜通り地震における地表地震断層近傍の建物の悉皆調査

被害度と築年(外観目視)との関係(全体)

| 被害度 | 30年以上 | 割合 | 30~10年 | 割合 | 10年以下 | 割合 | 合計 | 割合 |
|-----|-------|------|--------|------|-------|------|-----|------|
| D0 | 38 | 47% | 37 | 44% | 21 | 84% | 96 | 50% |
| D1 | 23 | 28% | 44 | 52% | 4 | 16% | 71 | 37% |
| D2 | 6 | 7% | 1 | 1% | 0 | 0% | 7 | 4% |
| D3 | 5 | 6% | 0 | 0% | 0 | 0% | 5 | 3% |
| D4 | 9 | 11% | 2 | 2% | 0 | 0% | 11 | 6% |
| D5 | 0 | 0% | 1 | 1% | 0 | 0% | 1 | 1% |
| 合計 | 81 | 100% | 85 | 100% | 25 | 100% | 191 | 100% |
| 全壊 | 9 | 11% | 3 | 4% | 0 | 0% | 12 | 6% |

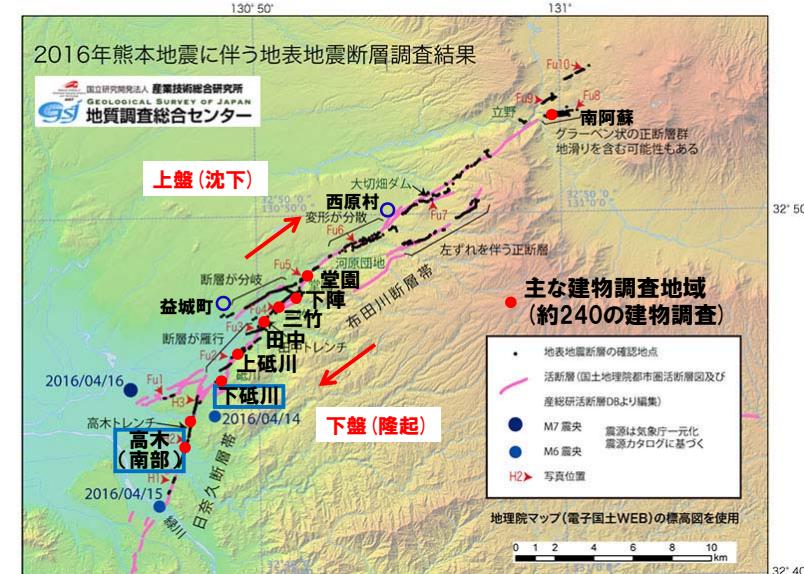
地表地震断層と調査建物の位置関係と被害度の関係(全体)

| 被害度 | 直上 | 上盤 | 下盤 | 不明 | 合計 |
|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| D0 | 0 | 27 | 67 | 2 | 96 |
| D1 | 1 | 24 | 42 | 4 | 71 |
| D2 | 1 | 1 | 5 | 0 | 7 |
| D3 | 0 | 1 | 4 | 0 | 5 |
| D4 | 6 | 1 | 2 | 2 | 11 |
| D5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 合計 | 9 | 54 | 120 | 8 | 191 |
| 全壊率 | 78% | 2% | 2% | 25% | 6% |

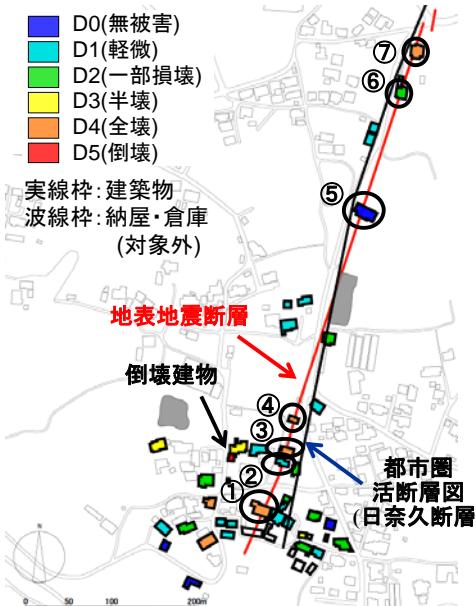
| 断層からの距離 | 棟数 | 割合 |
|----------|-----|------|
| 直上 | 9 | 5% |
| 100m以内 | 68 | 36% |
| 101~200m | 57 | 30% |
| 201~300m | 25 | 13% |
| 301~400m | 19 | 10% |
| 401~500m | 13 | 7% |
| 合計 | 191 | 100% |

地表地震断層直上を除き、震度5強から6弱

2016年熊本地震の地表地震断層と建物被害調査



上益城郡御船町・高木地域(南部)



| 構造 | 棟数 | 割合 |
|-----|----|------|
| 木造 | 35 | 90% |
| S造 | 3 | 8% |
| RC造 | 1 | 3% |
| 合計 | 39 | 100% |

| 築年 | 棟数 | 割合 |
|-------|----|------|
| 非常に古い | 17 | 44% |
| 古い | 13 | 33% |
| 新しい | 9 | 23% |
| 合計 | 39 | 100% |

建物①(築80年の伝統木造家屋、D4)



南面道路の地表地震断層 (左建物は納屋)



建物④(古い在来木造建物、D4)



地表地震断層と古い在来木造住宅の被害



断層ずれと無筋コンクリートブロックの被害



地表地震断層と同建物の傾斜被害(南面)



無筋コンクリートブロック基礎の被害

建物②(新しい木造住宅 D1)



正面道路の地表地震断層(約50cmのずれ)



新しい軽量鉄骨造(南面、外観上無被害)



北側は約1.5mの盛土と地表断層のずれ
(布基礎・耐震壁で基礎・建物は変形せず)



基礎隅角部のクラック

建物③(非常に古い鉄骨造工場、D4)



地表地震断層と傾斜した鉄骨造工場



無補強コンクリートブロックの被害



建物内の被害の様子(無筋の土間コンの被害、基礎の破壊により躯体構造も変形)

建物⑤(新しい鉄骨造工場、D0)



敷地南面の地表地震断層による亀裂



建物北面の敷地の亀裂(建物が外観上無被害)



建物柱脚部の地盤亀裂(基礎は無被害)



敷地北面の盛土擁壁の亀裂

建物⑦(古い在来木造家屋、D4)



地表地震断層と建物北面



盛土の被害(北面)



べた基礎と柱接合部の被害



建物南面の被害(壁量の不足)

建物⑥(築約20年の在来木造家屋、D2)



建物南面の概観(瓦の落下)



地表地震断層と建物南面(壁にクラックあり)



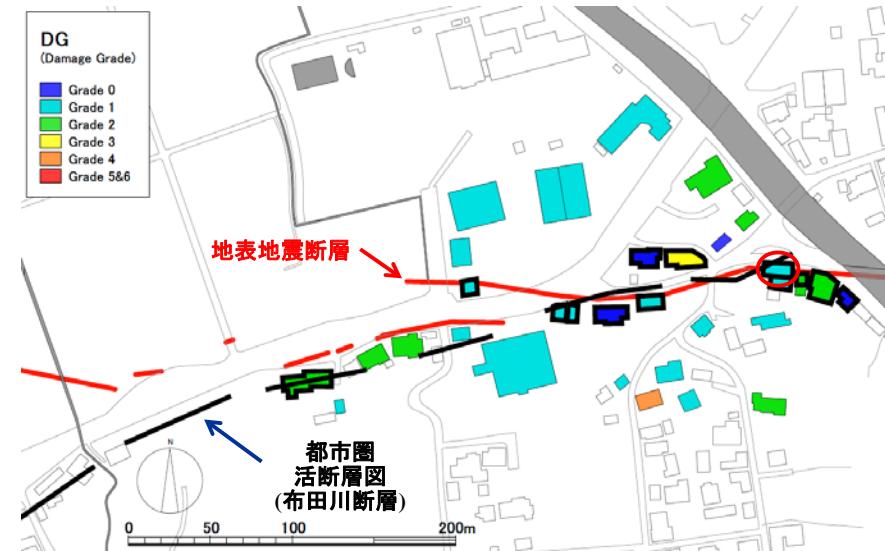
建物北面庭の地表地震断層によるずれ変形 建物室内(べた基礎であり、ほぼ無被害)
⇒当時では珍しいべた基礎等で大被害を免れたが、家主は公的援助が得られず後悔している..

高木地域(南部)の建物被害調査結果

| 新しい(10年程度以内) | | | 古い(10~30年程度) | | | 非常に古い(30年程度以上) | | |
|--------------|----|------|--------------|----|------|----------------|----|------|
| 被害度 | 棟数 | 割合 | 被害度 | 棟数 | 割合 | 被害度 | 棟数 | 割合 |
| D0 | 4 | 44% | D0 | 0 | 0% | D0 | 0 | 0% |
| D1 | 5 | 56% | D1 | 6 | 46% | D1 | 5 | 29% |
| D2 | 0 | 0% | D2 | 4 | 31% | D2 | 5 | 29% |
| D3 | 0 | 0% | D3 | 1 | 8% | D3 | 2 | 12% |
| D4 | 0 | 0% | D4 | 2 | 15% | D4 | 4 | 24% |
| D5 | 0 | 0% | D5 | 0 | 0% | D5 | 1 | 6% |
| D6 | 0 | 0% | D6 | 0 | 0% | D6 | 0 | 0% |
| 合計 | 9 | 100% | 合計 | 13 | 100% | 合計 | 17 | 100% |
| 全壊 | 0 | 0% | 全壊 | 2 | 15% | 全壊 | 5 | 29% |
| 倒壊 | 0 | 0% | 倒壊 | 0 | 0% | 倒壊 | 1 | 6% |

| 全建物 | | | 地表地震断層直上 | | | 断層直上以外 | | |
|-----|----|------|----------|----|------|--------|----|------|
| 被害度 | 棟数 | 割合 | 被害度 | 棟数 | 割合 | 被害度 | 棟数 | 割合 |
| D0 | 4 | 10% | D0 | 1 | 14% | D0 | 3 | 9% |
| D1 | 16 | 41% | D1 | 1 | 14% | D1 | 15 | 47% |
| D2 | 9 | 23% | D2 | 1 | 14% | D2 | 8 | 25% |
| D3 | 3 | 8% | D3 | 0 | 0% | D3 | 3 | 9% |
| D4 | 6 | 15% | D4 | 4 | 57% | D4 | 2 | 6% |
| D5 | 1 | 3% | D5 | 0 | 0% | D5 | 1 | 3% |
| D6 | 0 | 0% | D6 | 0 | 0% | D6 | 0 | 0% |
| 合計 | 39 | 100% | 合計 | 7 | 100% | 合計 | 32 | 100% |
| 全壊 | 7 | 18% | 全壊 | 4 | 57% | 全壊 | 3 | 9% |
| 倒壊 | 1 | 3% | 倒壊 | 0 | 0% | 倒壊 | 1 | 3% |

上益城郡益城町砥川・下砥川地域 (縦ずれ断層の場合)



縦ずれ断層上の建物(新しい軽量鉄骨住宅、D1)



地表地震断層による段差(建物西面)



地表地震断層による敷地段差(西面)

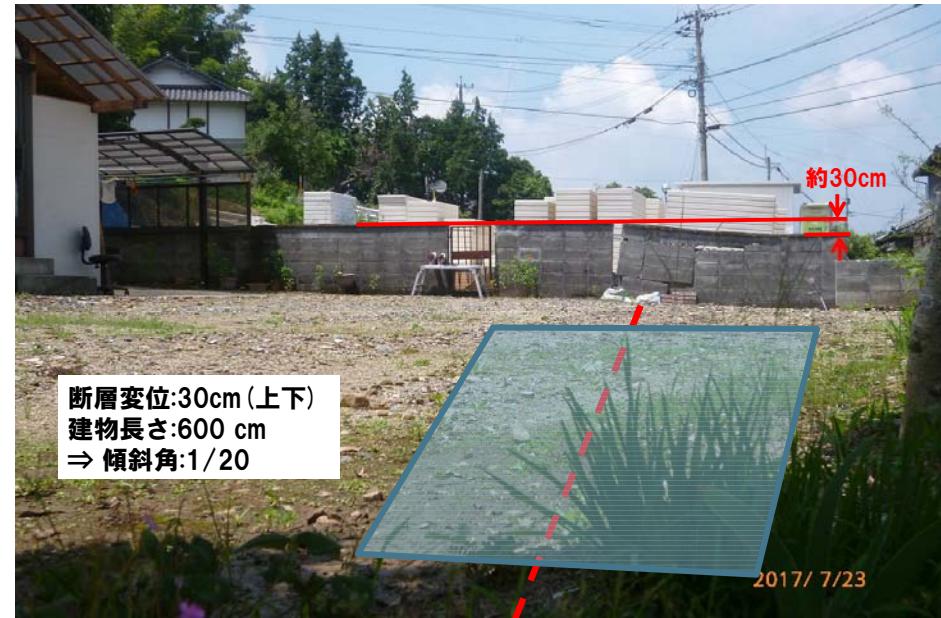


基礎の亀裂(西面:べた基礎等で被害軽微)



地表地震断層による段差(建物東面)

縦ずれ断層上の建物(新しい在来木造?、D1)⇒撤去



断層変位:30cm(上下)
建物長さ:600 cm
⇒ 傾斜角:1/20

約30cm
↓
↓

2017/7/23

消える地表地震断層の痕跡



2016年5月7日



2017年7月22日

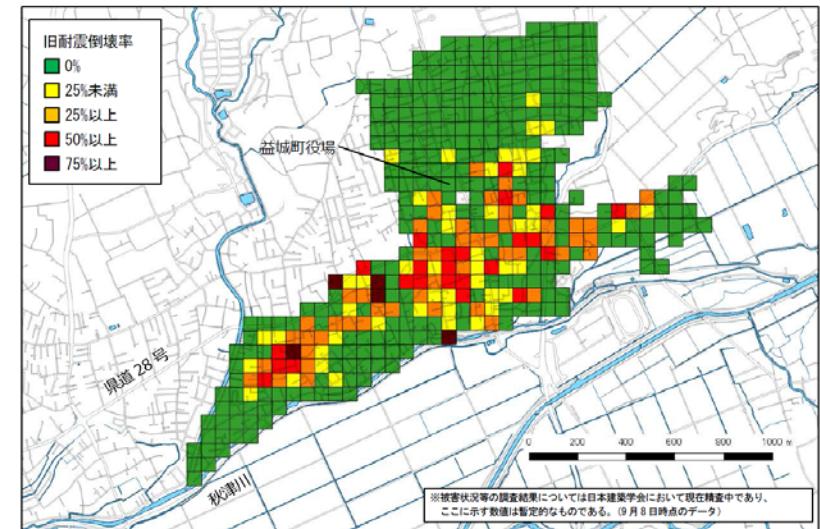


2016年5月22日



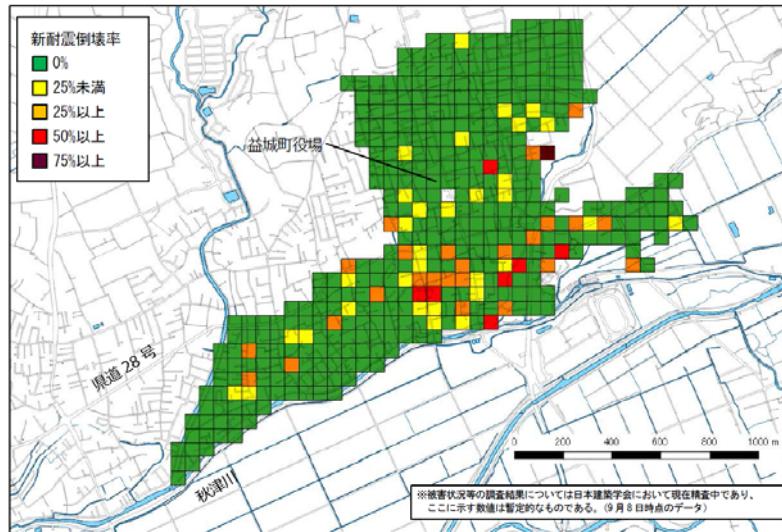
2017年7月23日

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 1981年5月以前建築(旧耐震)の建築物の倒壊率の分布



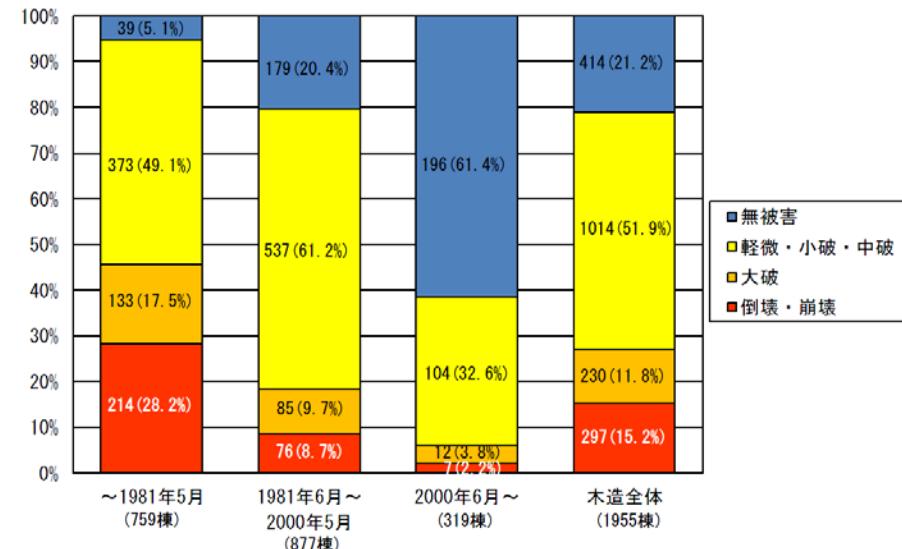
国土技術政策総合研究所資料(2016)

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 1981年6月以降建築(新耐震)の建築物の倒壊率の分布



国土技術政策総合研究所資料(2016)

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 木造の建築時期別の被害状況



国土技術政策総合研究所資料(2016)

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 築年2000年以降で倒壊した木造住宅7棟の原因分析

- 7棟のうち3棟は接合部仕様が不十分
- 1棟は敷地の崩壊、基礎の傾斜を確認
- 残り3棟のうち、2棟は変形能力を上回る応答変位が生じ、1棟は大きな地震動が作用した可能性有



写真 3.3-4 倒壊した木造住宅



写真 3.3-5 写真 3.3-4 の建物の写真筋かい端部、柱脚接合部



写真 3.3-6 倒壊した木造住宅

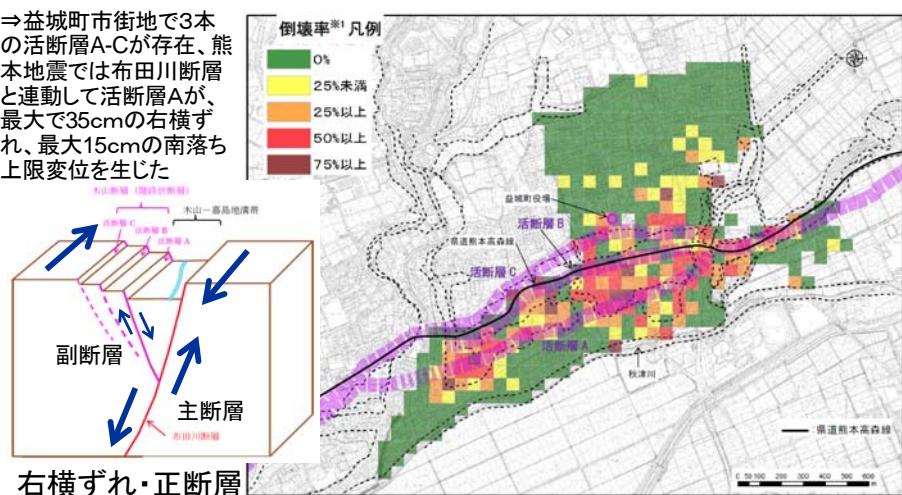


写真 3.3-7 写真 3.3-6 の建物の写真筋かい端部、柱脚接合部

熊本地震における建物被害原因分析を行う委員会報告書(2016)

熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する最終報告(国土交通省、2017年3月)

⇒益城町市街地で3本の活断層A-Cが存在、熊本地震では布田川断層と連動して活断層Aが、最大で35cmの右横ずれ、最大15cmの南落ち上限変位を生じた



活断層と建築の対策:益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する最終報告

(国交省2017)

益城町の市街地復興に向けた安全対策の提案

「活断層のズレに対する安全対策」

(1) 低層建築物について

⇒ 今後、新築される建築物について特段の追加的配慮は必要ないものと考えられる。

(2) 杭基礎構造を有する中高層建築物等について

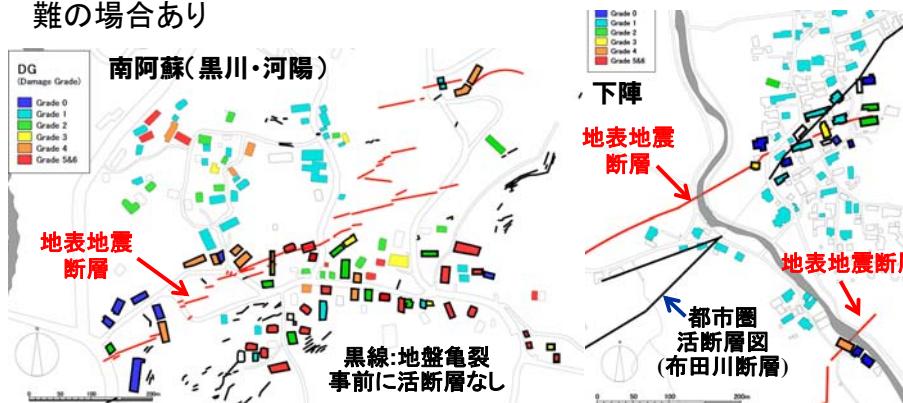
⇒ 活断層による地盤のズレによる被害リスクも想定されるため、新たに建築する場合は、地盤調査等により、活断層の存在の確認等を行うことが考えられる。

活断層のズレに対する安全対策

(2) 杭基礎構造を有する中高層建築物等について

⇒ 活断層による地盤のズレによる被害リスクも想定され、新建築の場合、地盤調査等により、活断層の存在の確認等を行うこと

⇒ 都市部では厚い堆積・沖積層、地盤改変等で活断層位置が明確にならないことが多く、地盤変状による被害は広範囲に生じ、予測困難の場合あり



活断層と建築の対策:益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する最終報告(国交省2017)

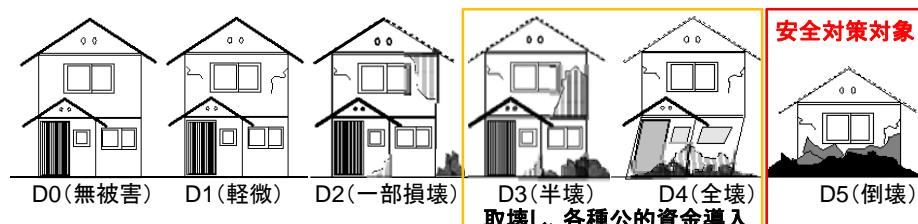
・活断層のズレに対する安全対策(提案)

(1) 低層建築物について

⇒ 今後、新築される建築物について特段の追加的配慮は必要ない
⇒ 一般市民には何もしなくても良いと誤解される可能性あり

・建築基準法(最低基準)の「安全」とは「倒壊しない」の意味

⇒ 取壊しになれば、避難所・仮設住宅の生活等で死者が増大(直接死は50名、関連死は約210名)、復旧・復興へ膨大な時間・費用



新提案: 活断層近傍であれば、建築基準法(全国最低基準)より高い耐震性能を推奨・誘導

○対策1:機能継続が必須の重要施設(災対本部・病院・避難所等)

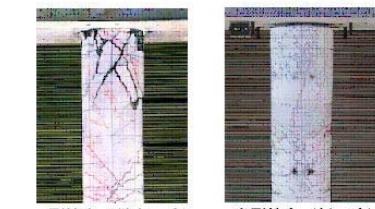
・断層調査等を実施、断層を避ける、移設・代替施設など

○対策2:一般の低層建築物

被害低減には、べた基礎・耐震壁・軽い屋根など変形対策が有効
・地域係数の割増し(静岡県や福岡市・警固断層近傍)
・高い耐震等級への誘導:耐震等級2(1.25倍)、3(1.5倍)
⇒ 2割程度の荷重増でも一般建築では建設費の数%で可能

○対策3:中高層建築物等の杭基礎

・軟弱地盤活用(ずれの分散・回避)
・断層ズレに対応できる杭の開発を誘導⇒阪神・淡路大震災での軟弱地盤の杭基礎頭部での被害を受け、半剛性やピン支持の様々な技術開発。すべり支持などで、ズレが軸体に入力しない基礎も開発可能では?



「大都市大震災軽減化特別プロジェクト・テーマⅡ」
「杭頭半剛接合構法を採用した建物の地震時挙動に関する研究」より