

1章 大きな地震における学校施設の耐震補強の効果例

■ 新潟県

- ・新潟県立十日町総合高等学校校舎
- ・新潟県立十日町高等学校校舎
- ・川口町立川口中学校校舎
- ・川口町立川口中学校体育館

■ 宮城県

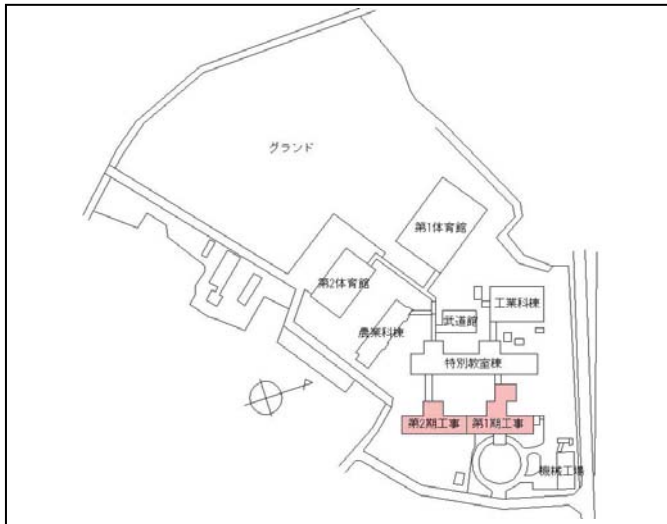
- ・登米市立米山中学校校舎
- ・涌谷町立涌谷中学校校舎
- ・涌谷町立涌谷中学校体育館

耐震補強校舎等の地震後の状況

とおかまち 県立十日町総合高等学校

〔建物概要〕 棟名称：管理普通教室棟、建築年：昭和41,42年、構造階数：R3
敷地面積：41,632㎡、延床面積：3,196㎡

■配置図



【施設の状況】

昭和41、42年に建設されたRC造3階建て3,169㎡の管理普通教室棟である。本建物は旧耐震設計法で設計されており桁行方向（9スパン）、梁間方向（4スパン）とも耐震壁付ラーメン構造となっている。校舎は片廊下型で、渡り廊下により特別教室棟に連続している。耐震補強工事は平成16～17年に各3ヶ月の2期として行われ、地震発生前までに、東側6～10通り間の補強工事（全体の約半分）が完了していた。

この状況で平成16年10月23日の新潟県中越地震（震度6弱）を受けて、建物に小破程度の被害が生じた。

■管理普通教室棟外観（補強後）



【耐震補強工法の概要】

建物は西側に階段室が2箇所あり、桁行きにも耐震壁が配置されているが、大きな開口または複数の開口があり、あまり有効ではないと推定される。桁行きは◎通り、◎通りとも外フレームは壁梁であり、補強前は◎通りの柱は極短柱^{※1}となっている。耐震判定の桁行方向のIs値は1,2階が0.30、梁間方向は1階が0.69である為、耐震補強の方針は、極脆性柱は、そで壁の増設、開口閉塞により解消し、建物の耐力の不足は新設鉄骨ブレース、（出入り開口つき）耐震壁等により補強するとしている。

※1 独立柱に腰壁、たれ壁がとりついて、内のり高さの柱せい（巾）に対する比が2.0以下と小さくなり、部材の変形性能が低下した柱

■施設概要

| | |
|----------------|--|
| 工事期間 | 平成16年7月～ 平成17年12月（3ヶ月×2年） |
| 全体工事費 | 173,508千円 |
| 補強部分 概算工事費 | 鉄骨ブレース補強 254千円/㎡ RC壁増設 140千円/㎡ |
| Is値 補強前→補強後 | Isx=0.30 → Isx=1.01 Isy=0.69 → Isy=0.88 |

[学校概要] 児童生徒数：592人、学級数15

■補強前（外観）



■補強後（外観）



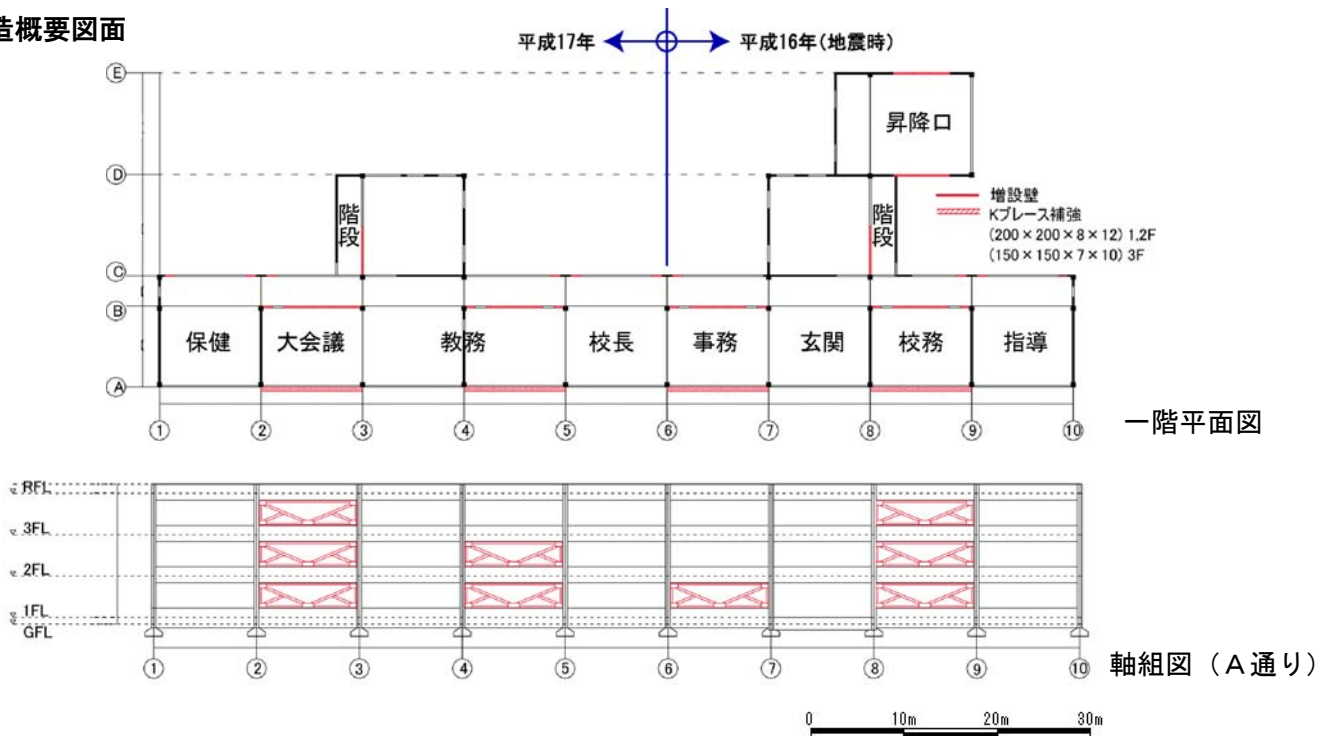
■補強前（内観）



■補強後（内観）



■構造概要図面



県立十日町総合高等学校

■補強詳細



(出入り開口つき) 耐震壁増設

■地震後の状況



2階短柱のせん断破壊

【地震の概要】

発生日時：平成16年10月23日17時56分ころ

震源地：新潟県中越地方（北緯37°17.5′、東経138°52.0′）

震源の深さ：約13km.

地震規模：マグニチュード6.8

学校周辺震度：震度6弱

【地震後の状況】

本建物は地震により構造体にも被害が生じたため、地震後に被害調査及び被災度区分判定が行われている。1階㊸通りに損傷度Ⅳの柱が2本、2階㊸通りに損傷度Ⅳの柱が2本確認されている。「地震後の状況写真」は損傷度Ⅳの被害を受けた2階の柱の被害状況である。これらの柱は、開口部により極短柱の形状となっており、すべてせん断破壊していた。1階の柱では主筋が座屈していた。

㊸通り及び㊸通りの柱には被害がなかった。増設開口耐震壁では、開口周りに軽微なひび割れが見られ、この耐震壁が地震力を有効に負担していたことが推定される。袖壁の増設により補強されていた柱は軽微なせん断ひび割れ程度であったが、袖壁及び袖壁部周辺にせん断ひび割れが生じていた。

補強予定であった1階㊸、㊸通りの壁柱はせん断破壊し、ひび割れ幅が5mm程度であった。また、㊸、㊸通りの壁柱は1階では両側に袖壁を増設されていたが、2、3階は（㊸通り側）片側のみが増設工事を終了した片側袖壁付柱になっている。2階の柱は補強部分がせん断破壊をおこしていた。この柱は上下階の剛性の違いにより、2階にむしろ大きな変形が生じたと考えられる。㊸、㊸通りの柱は耐震補強が完了しており、両側増設袖壁付柱になっていた。この通りの柱では、柱部分や増設袖壁周辺にそれぞれひび割れが確認され、増設袖壁と柱部分が分離してせん断抵抗したと考えられる。以上の被害により、両側袖壁増設による補強は、このゾーンのブレース補強との相乗効果もあって有効に働いたと考えられる。余震時における生徒の体感として、補強が終了した側の教室にいる方がずっと安心感があった、との感想を得ている。

被災度判定の損傷度により桁行方向の耐震性能残存率は、被災前の耐震性能を100%として89.0~96.0%と算定されており、最も小さい2階で被災度区分は小破となる。耐震補強により耐震性能の低下が抑えられたとすれば、耐震補強がない場合には中破以上のかかなり深刻な被害が生じていた可能性があった、と推定されている。

【耐震診断結果および耐震補強計画のポイント】

(文献一による)

表一は地震時の桁行方向の耐震診断結果を示したが、これは補強前及び耐震補強設計後の耐震診断結果(表二)を基に略算的に算出されたものである。なお、 I_s 値は新潟県の地域係数0.9で除して表現されている。補強後は各階とも、極脆性柱を無視して $F=1.0$ で(5)式^{*2}を用いて E_0 値が算定されている。C通りの柱は補強前の診断では、第2種構造要素の極脆性柱と判定されていたが、この柱の軸力は梁間方向に再配分可能であることから、地震時には第2種構造要素ではないと判断している。また、増設袖壁による耐震補強を行った柱では、せん断破壊部材となり、 $F=1.0$ と評価している。地震時の耐震診断結果は2階の指標は $I_s=0.58$ で $I_{so}(=0.7)$ に対して耐震性能が不足していた。今回の地震被害は2階の被害が最も大きく、診断結果と整合している。図一はC-F関係を示したものであるが、各階とも補強前に比べて補強後の強度指標が高くなっており、耐震補強により耐震性能はかなり向上したと判断される。1階も全体としては0.7を上回っているが、未補強側では相対的に大きな被害がみられ、この点でも補強の有効性が確認されている。

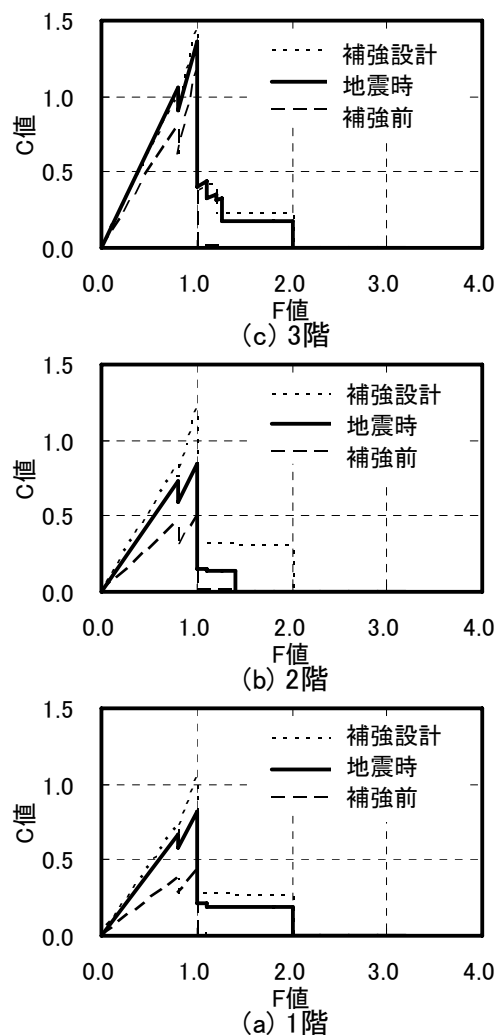
*2 保有性能基本指標 (E_0) を算出するにあたり靱性指標 (F 値) の大きい鉛直部材のみの強度を考慮して行う計算式

【参考文献】

1) 本多良政、加藤大介：2004年新潟県中越地震における耐震補強したRC造建物の補強の効果、構造工学論文集、2006年3月

■図一 C-F 関係図

(H16年→地震時、H17年以降→補強設計)



表一 地震被災時における耐震診断結果

| 階 | C | F | E_0 | SD | T | I_s | CTUSD |
|---|---------|--------|-------|------|------|-------|-------|
| 3 | (1.060) | (0.80) | 0.901 | 0.88 | 0.99 | 0.79 | 0.89 |
| | 1.351 | 1.00 | | | | | |
| | 0.440 | 1.10 | | | | | |
| 2 | (0.726) | (0.80) | 0.670 | 0.88 | 0.99 | 0.58 | 0.64 |
| | 0.838 | 1.00 | | | | | |
| | 0.153 | 1.10 | | | | | |
| 1 | (0.663) | (0.80) | 0.816 | 0.88 | 0.99 | 0.71 | 0.72 |
| | 0.82 | 1.00 | | | | | |
| | 0.214 | 1.10 | | | | | |

表二 補強前後の耐震診断結果

| 階 | 補強前 I_s | | 補強後 I_s | |
|---|-----------|------|-----------|------|
| | 桁行き | 梁間 | 桁行き | 梁間 |
| 3 | 0.46 | 1.73 | 1.05 | 1.85 |
| 2 | 0.30 | 1.19 | 1.01 | 1.22 |
| 1 | 0.30 | 0.69 | 1.03 | 0.88 |
| | 0.30 | 0.69 | 1.01 | 0.88 |