

1章

大地震における学校施設の 耐震補強の効果例

【概要】

	学校名	建物概要	補強工法	耐震性能 (I_s 値)	事業費 工期
校舎	新潟県 十日町総合高等学校	S41、42築 RC造3階建て 延床3,196㎡	鉄骨ブレースの設置 耐震壁の設置 極脆性柱にそで壁を設置	前 後 x方向 0.30 → 1.01 y方向 0.69 → 0.88	1億7350万8千円 3ヶ月×2年
	新潟県 十日町高等学校	S49、50、51築 RC造4階建て 延床5,843㎡	鉄骨ブレースの設置 構造スリットの設置 耐震壁の設置 鋼板を柱に巻く 炭素繊維を柱に巻く	前 後 x方向 0.42 → 0.80 y方向 0.39 → 0.75	3億4381万5千円 3ヶ月×3年
体育館	新潟県 川口町立川口中学校	S51築 S造2階建て 延床1,670㎡	鋼管ブレースの設置	前 後 x方向 0.08 → 0.73 y方向 0.70 → 0.70	1億162万1千円 4ヶ月×1年
	宮城県 涌谷町涌谷中学校	S54築 RC造2階建て 延床1,302㎡	落下懸念のある屋根板 のかけ替え	前 後 x方向 0.74 → 1.16 y方向 0.94 → 1.70	1億5456万円 7ヶ月×1年

※ 事業費については、耐震補強工事以外も含んだ全体工事費

記号の説明

R(RC)：鉄筋コンクリート造

S：鉄骨造

RS：屋内運動場において下層部がRC、上層部がSの構造

鉄骨ブレース・耐震壁による建物の補強

新潟県十日町総合高等学校 児童生徒数：592人 学級数：15
建築年：昭和41,42年 構造階数：R3 延床面積：3,196㎡



補強後 (外観)



鉄骨ブレース (斜材)

補強後 (内観)

かべはり
壁梁



補強前 (外観)



耐震壁増設

補強後

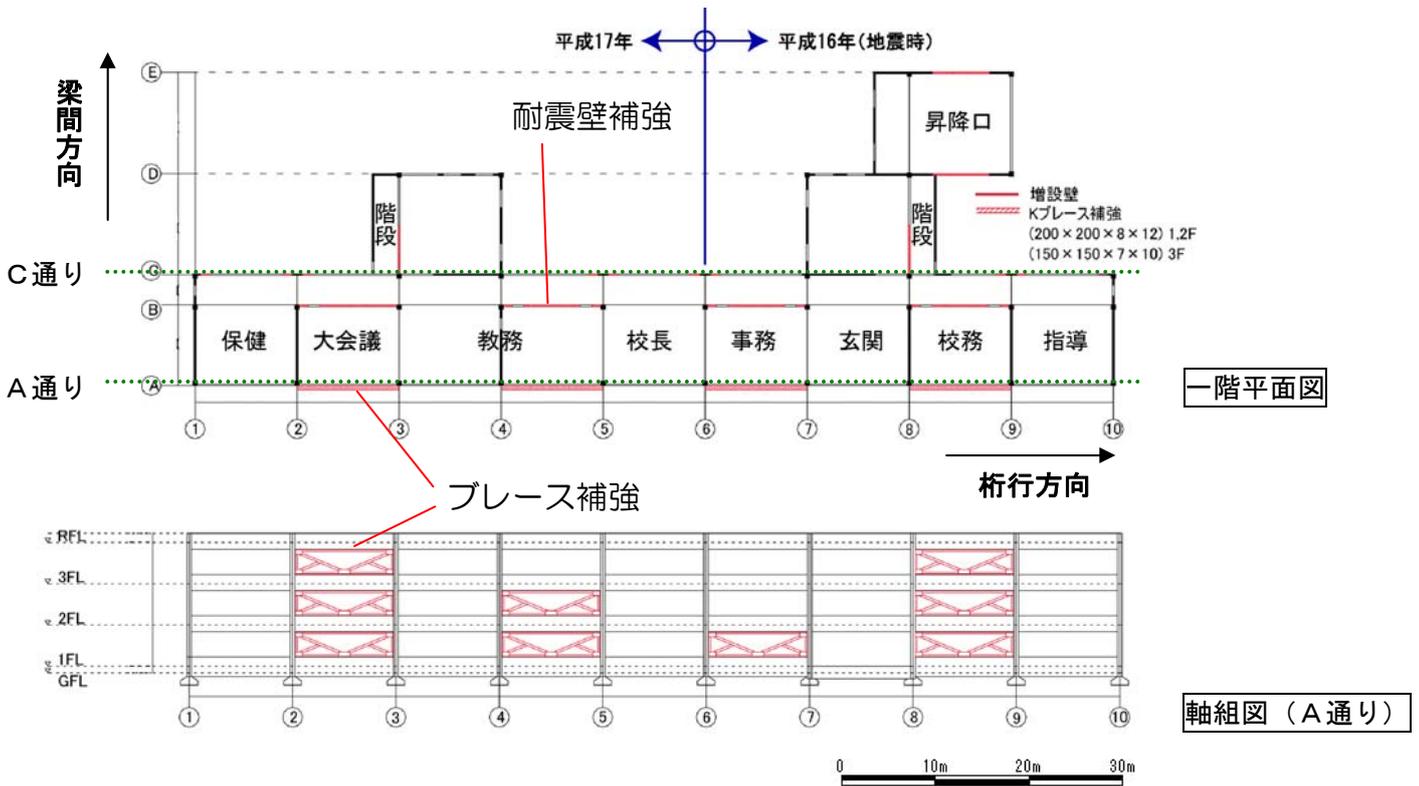
■事業概要

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

■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④通り、⑤通りとも外フレームは壁梁であり、補強前は⑤通りの柱は極短柱^{ごくたんちゆう}*1となっている。耐震診断の結果、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^{ごくせいせいばしら}*2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。

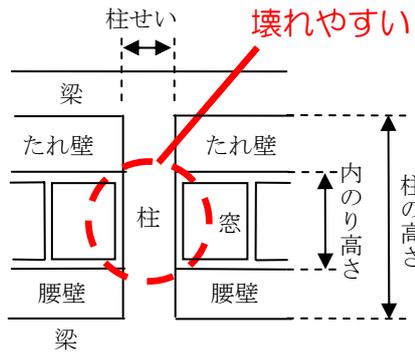
■構造概要図面



ワンポイントキーワード

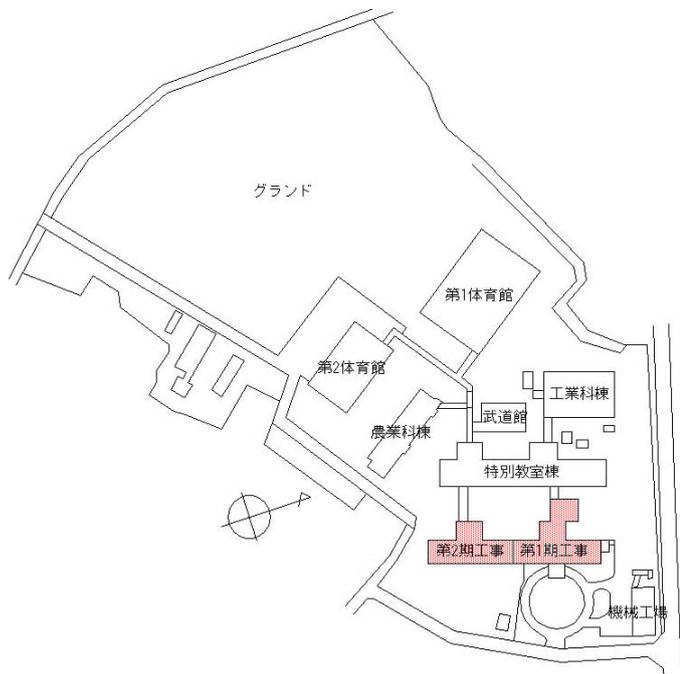
※1 極短柱^{ごくたんちゆう}

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。



※2 極脆性柱^{ごくせいせいばしら}

せん断破壊が曲げ破壊より先行する極短柱、すなわち、破壊に至るまでの変形能力が極めて乏しい極短柱のこと。



配置図

■地震後の状況



地震後の状況写真

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。損傷が認められた柱が1階◎通りに2本、2階◎通りに2本確認されている。「地震後の状況写真」は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^{※3}していた。1階の柱では主筋が座屈していた。

④通り及び⑩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。

■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（建物の長手方向、構造概要図面1階平面図参照）、梁間方向（建物の短手方向）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。

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′）

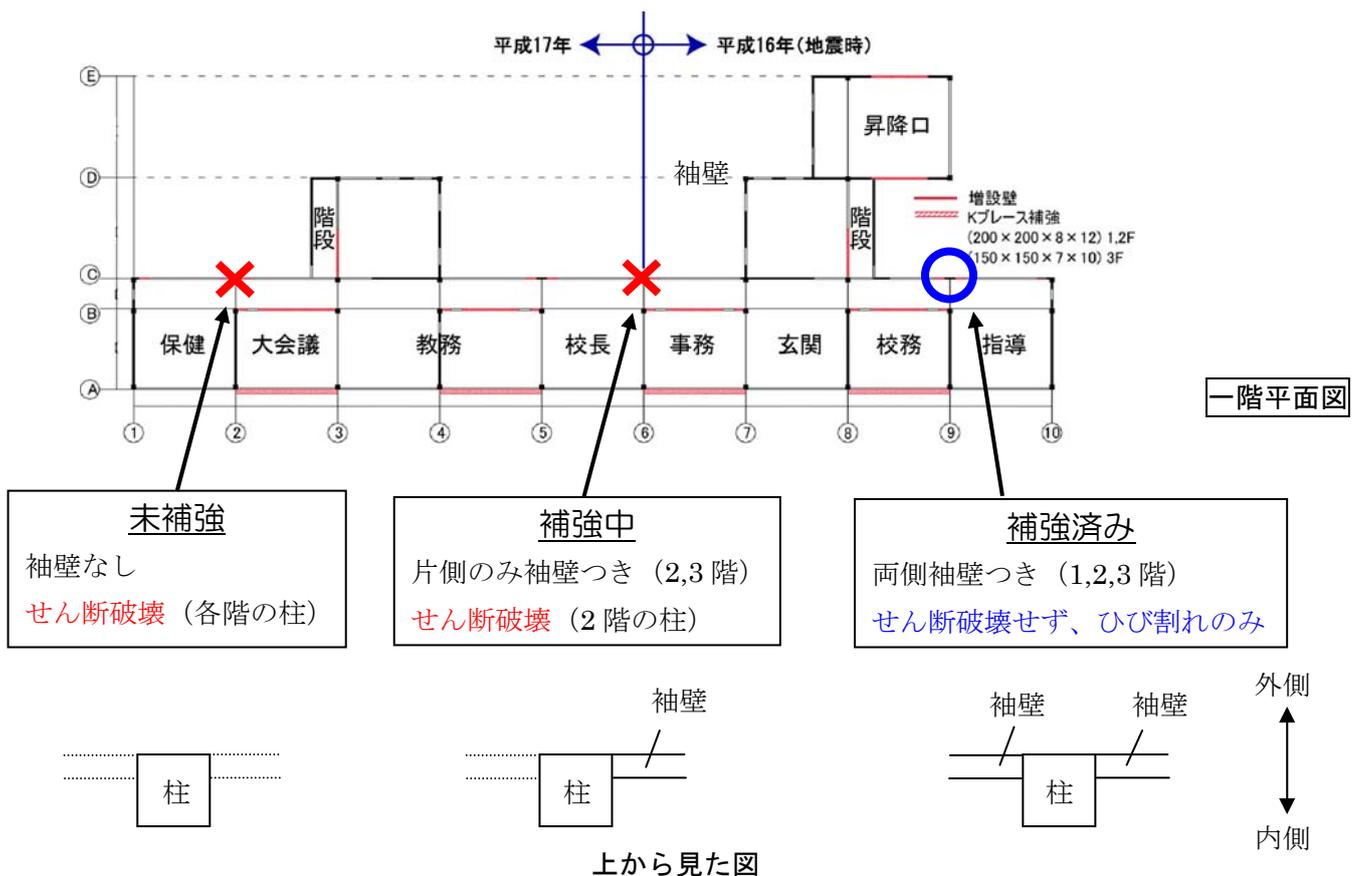
震源の深さ：約13km.

地震規模：マグニチュード6.8

学校周辺震度：震度6弱

補強予定であった1階②, ③通りの壁柱はせん断破壊し、ひび割れ幅が5 mm 程度であった。また、⑥, ⑨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（⑦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。⑥, ⑨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た。局所的に力が集中せず、増設袖壁と柱部分が分担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。

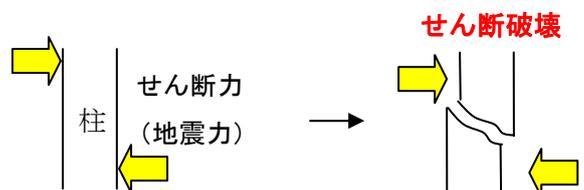
被災度判定の損傷度により桁行方向の耐震性能残存率は、被災前の耐震性能を100%として89.0~96.0%と算定されており、最も小さい2階で被災度区分は小破となる。耐震補強により耐震性能の低下が抑えられたとすれば、耐震補強がない場合には中破以上のかなり深刻な被害が生じていた可能性があった、と推定されている。



ワンポイントキーワード

※3 せん断破壊

せん断力によって部材のせん断変形が増大し破壊に至る。一般的に、粘りのない脆い破壊である。



鉄骨ブレース・構造スリットの設置による建物の補強

新潟県十日町高等学校 児童生徒数：939人 学級数：24
建築年：昭和49, 50, 55年 構造階数：R4 延床面積：5,843㎡



補強後（外観）

鉄骨ブレース



補強前（外観）

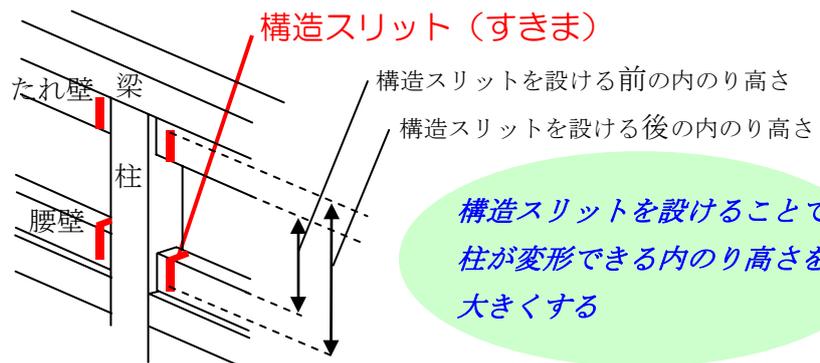
構造スリット※1

補強後（外観）

ワンポイントキーワード

※1 構造スリット

地震時に柱に力が集中し、壊れるのを防ぐために腰壁・たれ壁と柱の間に設けられたすきまのこと。



■事業概要

工事期間	平成 15 年～ 平成 17 年（3ヶ月×3年）		
全体工事費	343,815 千円		
補強部分 概算工事費	鉄骨ブレース補強	125 千円/㎡	
	RC 壁増設	88 千円/㎡	
	柱鋼板巻立補強	254 千円/ヶ所	
	柱炭素繊維巻立補強	385 千円/ヶ所	
Is 値 補強前→補強後	Isx=0.42 → Isx=0.80		
	Ily=0.39 → Ily=0.75		

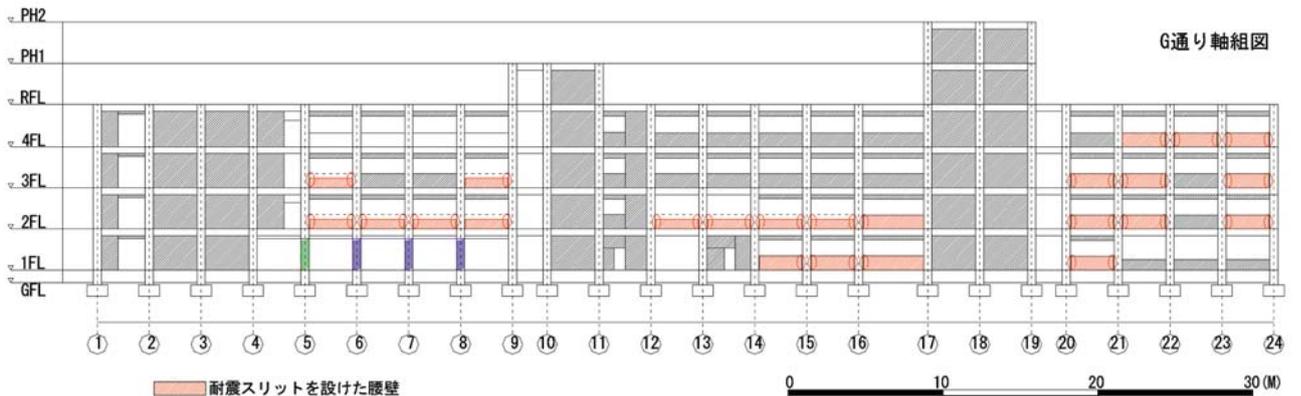
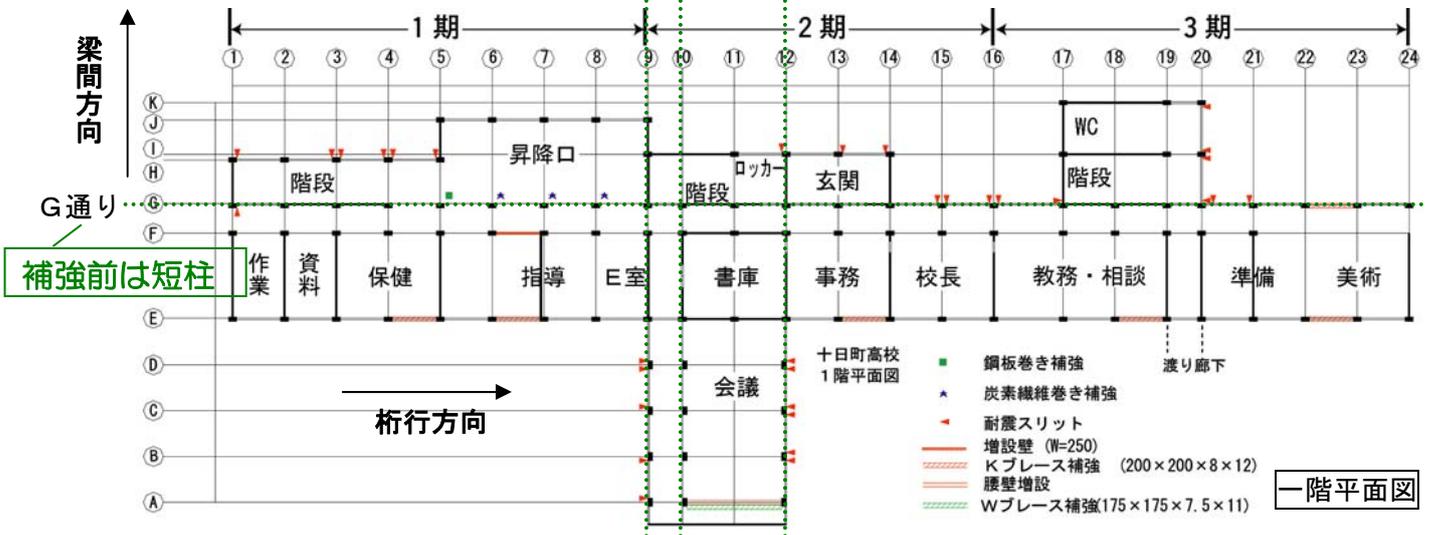
■耐震補強工法の概要

建物は北側に階段室が3箇所あり、桁行きにも有効な耐震壁が一定量配置された計画になっている。桁行き⑨通り、⑩及び⑫通りの架構では、梁に腰壁、たれ壁がついており、補強前は柱が短柱となっている。南側⑨通りの架構は壁梁であり、南側もやや短い柱になっている。東側端部の⑳、㉑通りの架構は、中柱のない10mのスパンとなっている。

耐震判定の桁行方向のIs値は1階が0.42、梁間方向は1階が0.39である為、耐震補強の方針は建物内に存在する脆性柱を構造スリットの設置により解消し、建物の耐力の不足を新設鉄骨ブレース（一部開口付耐震壁）により補強するものである。

■構造概要図面

⑨通り ⑩通り ⑫通り 補強前は短柱



軸組図 (G通り)

■耐震補強工法の概要

採用した耐震補強工法は、新設鉄骨ブレース、腰壁・たれ壁への構造スリットの設置(各階)、構造的に重要な柱への炭素繊維巻き補強、あるいは下階壁抜け柱への鉄板巻き補強、及び柱への開口耐震壁打増し補強(1階のみ)となっている。新設鉄骨ブレースは、K型ブレースとW型ブレースを採用している。特別教室棟側と、出入口以外閉鎖して問題ない部分のA通りには、W型ブレースを設置している。その他は桁行きで外部に面した開口に、角度が45度に近い特徴的なK型ブレースを配置している。



鉄骨ブレース工事



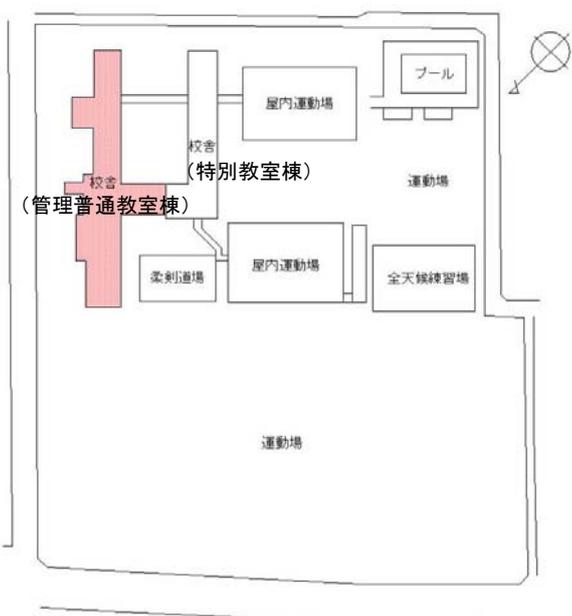
耐震壁の増設工事



柱炭素繊維巻補強



柱鉄板巻補強



配置図

■施設の状況

昭和49、50、55年に建設されたRC造4階建て5,952㎡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き方向(建物の長手方向)、梁間方向(建物の短手方向)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、平面は南側の特別教室棟に連続する形となっている。耐震補強は平成15～17年度(3期)にわたる工事の2期分が終了した時点で新潟県中越地震(震度6弱)を受けながら、軽微な被害で済んだ事例である。

■地震後の状況



地震後の表面ひび割れ

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 $37^{\circ}17.5'$ 、東経 $138^{\circ}52.0'$ ）
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

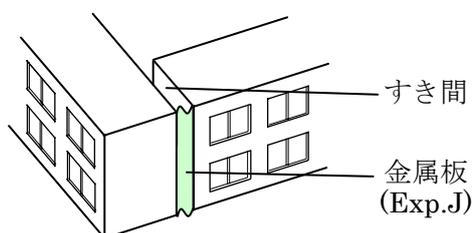
本建物は最大加速度がかなり大きなレベルである震度6弱相当の地震を受けたと考えられ、また補強工事は一部完了していないにもかかわらず、被災度は軽微にとどまった。校舎内では家具の転倒やExp.J^{※3}に損傷、ガラスの破損が見られたが、桁行き方向の構造の被害は腰壁以外では微細なひび割れが見られる程度で、軽微であった。腰壁にスリットを設けた C 通りの柱では、曲げひび割れ^{※4}を確認することができ、スリットの効果を確認することができた、と報告されている。炭素繊維巻きの柱では、表面の仕上げにかなり顕著なひび割れが確認された。専門的にはこの柱が地震力を有効に負担したものと推定されたが、使用者には構造ひびわれと区別がつかず、やや不安を残したようであった。梁間方向では耐震壁や開口隅角部に比較的顕著なせん断ひび割れ^{※4}が確認され、むしろ梁間方向の被害がやや大きめであった。これは（南北が強い）地震動の方向性にも関係していたと思われる。

ワンポイントキーワード

※3 Exp.J (エキスパンションジョイント)

L字型構造や渡り廊下のある建物の場合、温度変化による伸縮、また地震による揺れで無理な力が部分的に集中しないよう、2つの棟にすき間をもたせて建築する。エキスパンションジョイントとは、このすき間を覆い、建物の地震時の変形などに追従できるようにした「アルミ」や「ステンレス」などの金属板のこと。例えるなら、電車の「連結器」の部分と同じような働きをする。

イメージ図

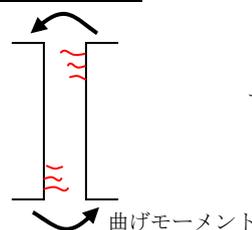


※4 曲げひび割れ、せん断ひび割れ

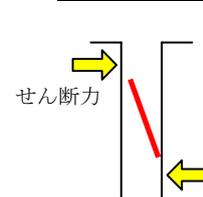
曲げひび割れとは、曲げモーメント(力×距離)を受ける部材に生じる比較的軽微なひび割れのこと。

一方、せん断ひび割れとはせん断力を受ける部材に生じる材軸に対して斜め方向のひび割れのこと。せん断破壊につながり危険である。

曲げひび割れ



せん断ひび割れ



鋼管ブレースによる建物の補強

新潟県川口町立川口中学校体育館 児童生徒数：155人 学級数：6
建築年：昭和51年 構造階数：S 2 (1F:RC 2F:S) 延床面積：1,670 m²



補強後（内観）

鋼管ブレース



鋼管ブレースの上枠部

補強部詳細写真



鋼管ブレースのアンカー部

アンカー

定着すること。本事例では、鋼管ブレースを2階柱の下端部ではなく床部分に定着させることで、柱への負担を生じさせないように工夫している。

補強部詳細写真

■事業概要

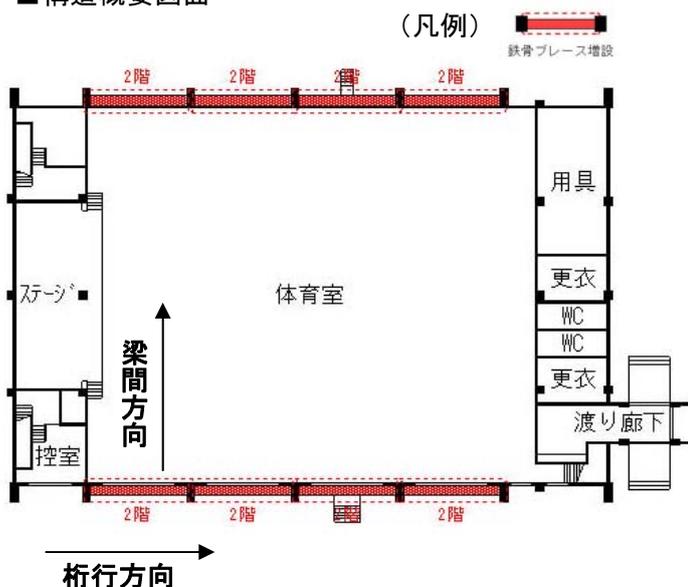
工事期間	平成9年 7月～ 平成9年 11月 (約4ヶ月)
全体工事費	101,621 千円
補強部分 概算工事費	鉄骨ブレース 10 千円/㎡ (8 × 3.1 ㎡/ヶ所)
Is 値 補強前→補強後	Isx=0.08 → Isx=0.73 Isy=0.70 → Isy=0.70

■耐震補強工法の概要

耐震診断によると、桁行方向の Is 値は1階、0.77、2階0.08であることから、2階の桁行き方向に鉄骨ブレースを8ヶ所増設し、補強後の2階 Is 値は0.73となった。屋根は荷重伝達が可能な形式である。梁間は柱梁接合部が溶接接合ではなく、また柱脚部も問題ないことから、Is>0.7を確保している。桁行きの耐力不足は鋼管K型ブレースによる補強を行っている。柱がラチス材^{※1}でありブレースの設置に耐えられないため、上枠材を設けて逆三角形の形式で補強している。

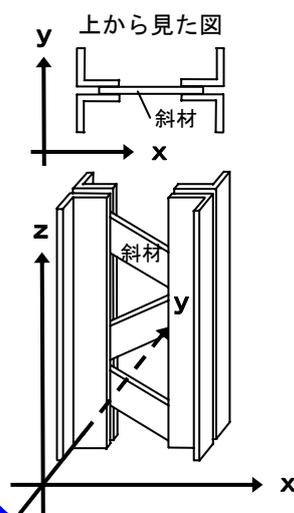
逆三角形の下端の交点はギャラリー部の床へアンカーされており、既存柱脚部への負担を生じないよう配慮されている。

■構造概要図面



ワンポイントキーワード

※1 ラチス柱



左図のような柱のこと。板材から構成される組立柱である。通常の柱はx、y方向の力に抵抗できるが、ラチス柱はy方向に斜材がないためy方向の力に抵抗できない。

■施設の状況

昭和51年に建設された鉄骨造の屋内運動場で、1階RC造、2階S造の2階建、1,670㎡の建物である。

耐震補強工事は施設の長期維持管理計画の一環としてアリーナの天井、床の大改修と併せ、平成9年7月～11月の4ヶ月で行われた。その後、平成16年10月23日に新潟県中越地震を受けた事例である。

■地震後の状況

本体育館のある川口町は平成16年10月の新潟県中越地震では震源から約2.3kmの位置で震度7であった。地震では天井の照明器具の電球の破損(器具の落下はなかった)とステージの木造床組みに40mm程度の隙間が生じる被害に留まり、平成17年3月の卒業式の開催に支障がなかった。この体育館は補強していたために、周辺の地区の中で地震後も通常使用が可能であった数少ない体育館の1つとなった。周辺他校の卒業式もこの体育館を日替わりで使用して開催することができた、とのことである。耐震補強が極めて有効であった事例である。

屋根のかけ替えによる建物の補強

宮城県涌谷町立涌谷中学校体育館

児童生徒数：391人

学級数：13

建築年：昭和54年

構造階数：R2(1F:RC 2F:S)

延床面積：1,302㎡



鉄骨造屋根

補強後（内観）



補強後（内観）



屋根のかけ替え



補強前（内観）

PC板屋根面



補強後（外観）



補強前（外観）

■事業概要

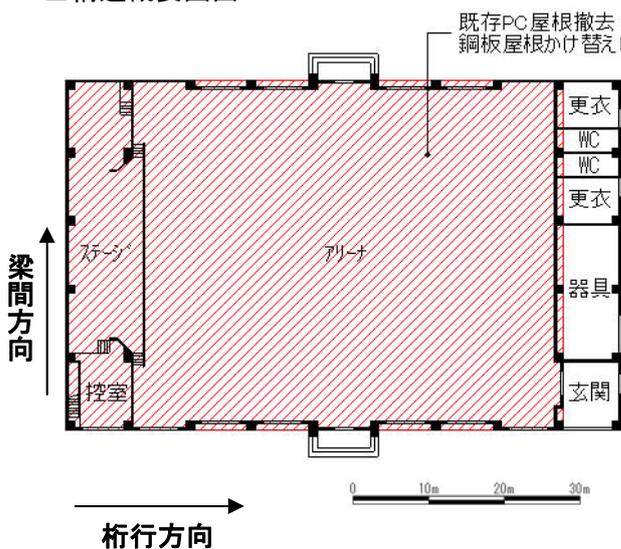
工事期間	平成 11 年 2 月～ 平成 11 年 8 月（約 7 ヶ月）
全体工事費	154,560 千円
補強部分 概算工事費	PC コンクリート屋根撤去 一式 5,562 千円 鉄骨梁工事 一式 13,951 千円
Is 値 補強前→補強後	Isx=0.74 → Isx=1.16 Isy=0.94 → Isy=1.70

■耐震補強工法の概要

本体育館は RC 構造 2 階建、1,302 m²（S54 年建設）で屋根は PC（プレキャスト）屋根であった。耐震補強工事は平成 11 年 2 月～8 月にわたって 7 ヶ月かけて行われた。その後平成 15 年 5 月 26 日の三陸南地震を受けた事例である。

外周の軸構面内についての耐震性は確保されているが、PC 板屋根面の面内剛性・耐力が不足している。PC 板脱落に対する懸念から鉄骨造屋根にかけ替え、荷重軽減を図り、面内剛性・耐力をもたせることにより、耐震性を向上させた。

■構造概要図面



ワンポイントキーワード

PC(プレキャスト)板

工場で製造した鉄筋コンクリート板。重量が大きく、屋根として用いると地震時にく体との接合部が破損し、落下する恐れがある。

落下懸念のある
屋根板の交換

鋼板屋根

鉄骨造であるため、重量が軽い

※一般的に、建物の重量が軽い方が、建物にかかる地震力が小さくなる。

■地震後の状況

本校舎の位置する涌谷町では、平成 15 年 5 月 26 日に発生した宮城県沖の地震で震度 6 弱の揺れを記録している。

地震では北西部分の鉄筋コンクリート造耐力壁にひび割れが生じた程度の被害であり、鉄骨造に改修した屋根の被害はなかった。

地震時に落下するおそれのあった PC 板屋根を鋼板屋根にかけ替え、建物重量を軽減した結果、軽微な損傷ですんだ。耐震補強が有効に機能したと考えられる。

一般的に屋内体育館では非構造部材に被害が生じる場合が多く、非構造部材の取り付け部の設計やディテール、施工法などについての検討も必要である。

地震の概要

発生日時：平成 15 年 5 月 26 日 18 時 24 分ころ

震源地：宮城県沖（北緯 38° 48.3′、東経 141° 40.9′）

震源の深さ：約 7.1 km

地震規模：マグニチュード 7.0