Japan Concrete Institute

報告　新潟県中越地震におけるRC造建物の被害と耐震性能の関係

中村　健一郎[*1]・長橋　鉄雄[*2]・本多　良政[*3]・加藤　大介[*4]

要旨：2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では，広範囲にわたって建物の被害が生じた。本報告では，震度が高かった地域におけるRC造の学校建物を対象にし，その地域の耐震化の状況，建設年と被害の関係および耐震性能と被害の関係について調査した。調査は，日本建築学会の被害調査および被災度判定調査の報告書，新潟県の施設台帳，新潟県設計協同組合内の耐震判定会の耐震診断報告書，等の各報告書および現地調査や聞き取りによった。その結果，震度7地域では耐震化率が高く被害が少なかったこと，震度6強地域と6弱地域では構造耐震指標Is値と被害の間に有意な差が確認できた。

キーワード：RC造学校建物，耐震診断，被災度判定，新潟県中越地震

1.　はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では，広範囲にわたって建物の被害が生じた。これらの被害と建物の特性の関係を把握しておくことは今後の耐震設計法の構築や耐震補強政策に重要である。また，今回の地震では各地で計測震度が報告されているので，震度別にこれらの関係を評価することもできる。そこで，本報告では，震度が高かった地域におけるRC造の学校建物を対象とし，その地域の耐震化の状況，建設年と被害の関係および耐震性能と被害の関係について調査した。

2.　調査データ

2.1　概要

調査は，日本建築学会の被害調査速報[1)]および被災度判定調査の報告書[2)]，新潟県の施設台帳，新潟県設計協同組合内の耐震判定会の報告書，等の各報告書および現地調査[3)4)]や聞き取りによった。

2.2　対象建物

2005年1月現在での新潟県教育庁財務課に保存してある施設台帳により，震度6弱以上地域と震度5強地域の一部のRC造学校建物を選出した。当時の市町村名で示すと，震度7地域（川口町），震度6強地域（山古志村，小千谷市，十日町市，小国町），震度6弱地域（長岡市，栃尾市，越路町，川西町，堀之内町，広神村，入広瀬村，大和町），震度5強地域（小出町，湯之谷村）の県立と市町村立の全小学校，中学校，高等学校である。概ね300 ㎡以上の建物を対象としたが，構造的に一体かどうかは施設台帳からのみでは判断できないので，現地で確認できたもの以外は推測によった。ただし，300 ㎡以下の建物でも文献[2)]で耐震性能残存率R[5)]が算定されているものは加えることにした。これに，新潟県設計協同組合内の耐震判定会の報告書から選出した建物も加えて，計369棟を対象とした。

2.3　被害程度の判定と耐震診断結果

被害程度の判定は，被災度区分判定[5)]によった。判定結果は，文献[2)]および新潟県設計協同組合内の報告書で耐震性能残存率Rの算定されている

*1 首都大学東京大学院　都市環境科学研究科　建築学専攻（正会員）
*2 新潟大学大学院　自然科学研究科　環境共生科学専攻（正会員）
*3 新潟大学　自然科学研究科博士研究員　博士（工学）（正会員）
*4 新潟大学　自然系（工学部建設学科担当）　教授　工博（正会員）

NII-Electronic Library Service

建物，現地調査[3)4)]をもとにRを算定した建物の計78棟を対象とした。なお，それぞれの図を示すときにも再度説明するが，Rが算定されていない建物でも，聞き取り調査等によってRを推定する場合もある。

診断結果は，施設台帳においては，耐震診断あるいは耐震補強設計がなされている場合には，構造耐震指標Isの最小値が記入されることになっている。しかし，診断次数も不明であり，診断時との時差により未記入の場合も多い。

そこで，本報告では第一に新潟県設計協同組合内の耐震判定会の報告書を優先した。報告書には耐震診断報告書と耐震補強設計報告書の2種類があり，耐震補強設計報告書では改めて診断を行っている例が多い。この際，耐震診断基準の改定，使用ソフトの関係で以前に行った診断とIs値が違うことが多い。そこで，その場合は耐震補強設計報告書のIs値を優先した。また，文献[2)]でもIs値が報告されており，それも採用した。それ以外の場合は，施設台帳のIs値を採用した。なお，診断次数はほとんどが2次診断であるが，初期のもので3次診断のものもあり，施設台帳によるものは不明である。

また，補強時のIs値が記入されていても実際に補強されていたかどうかが不明であるという問題がある。あるいは補強途中で被災した例もある。これに関しては現地調査あるいは聞き取り調査で確認するしかない。確認できたのは4棟あるが，2棟は補強部材を確認し，その時点でのIsを算出した。もう2棟は詳細が不明なので，診断時と補強時の平均を被災時のIs値とした。

以上により，地震時の耐震性能を表す構造耐震指標Isが確認できた建物は計58棟であった。

3. 耐震化の状況

調査全地域の耐震化調査結果を表－1に示す。対象建物は，建設年で1981年の建築基準法改正前後で分け，さらに，改正以前建設の建物は未診断，診断済（未補強），補強済の3つに分ける。補強済と1982年以降建設の建物は耐震化されているとする。表－1(a)は調査全地域の耐震化調査結果を学校種別に棟数で示したものである。耐震化率は，小学校で47%，中学校で43%，高校で49%，その他で100%，全体で46%であった。

表－1(b)は調査全地域の耐震化調査結果を震度地域別に棟数で示したもので，図－1は表－1(b)を図示したものである。耐震化率は，調査全地域で46%，震度7地域で88%，震度6強地域で41%，震度6弱地域で47%，震度5強地域で45%であった。震度7地域の川口町では，棟数が少ないとはいえ8棟のうち7棟が耐震化されていたため、他の地域に比べて耐震化率が非

表－1　耐震化調査結果

(a)　学校種別

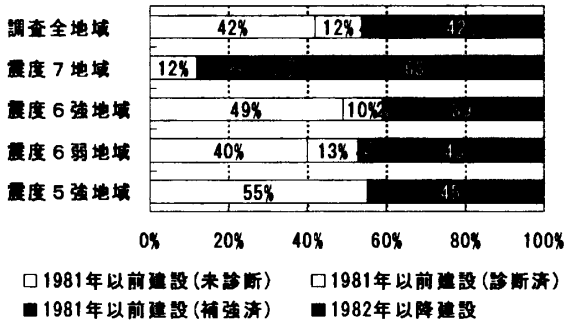
	1981年以前建設				1982年以降建設	合計
	未診断	診断済	補強済	小計		
小学校	83	17	2	102	86	188
	(44)	(9)	(1)	(54)	(46)	(100)
中学校	48	8	3	59	40	99
	(49)	(8)	(3)	(60)	(40)	(100)
高校	25	16	8	49	31	80
	(31)	(20)	(10)	(61)	(39)	(100)
その他	0	0	2	2	0	2
	(0)	(0)	(100)	(100)	(0)	(100)
全建物	156	41	15	212	157	369
	(42)	(12)	(4)	(58)	(42)	(100)

※( )内は各種別における合計に対する割合%

(b)　震度地域別

	1981年以前建設				1982年以降建設	合計
	未診断	診断済	補強済	小計		
震度7地域	0	1	2	3	5	8
	(0)	(12)	(25)	(37)	(63)	(100)
震度6強地域	46	9	2	57	37	94
	(49)	(12)	(2)	(61)	(39)	(100)
震度6弱地域	99	31	11	141	106	247
	(40)	(13)	(4)	(57)	(43)	(100)
震度5強地域	11	0	0	11	9	20
	(55)	(0)	(0)	(55)	(45)	(100)
調査全地域	156	41	15	212	157	369
	(42)	(12)	(4)	(58)	(42)	(100)

※( )内は各地域における合計に対する割合%



図－1　震度地域別の耐震化調査結果

NII-Electronic Library Service

常に高かったことが分かる。

4. 建設年と被害の関係

4.1 概要

調査全建物の建設年と被害の関係を震度地域別に表－2(a)～(d)に示す。対象建物は，上部構造にのみ被害を受けた建物と基礎構造に被害を受けた建物（上部構造にも被害はありうる）に分け，それぞれで被災度を区分する。上部構造の被災度は耐震性能残存率 R により，軽微（R≧95），小破（80≦R＜95），中破（60≦R＜80），大破（R＜60）と区分し，基礎構造の被災度は基礎の沈下量と傾斜により，小破，中破，大破と区分する。被災度区分判定の結果を用いたのは，全369棟のうちRの算定されている78棟であるが，R の算定されていない 291 棟についてはすべて上部構造の無被害･軽微とした。

図－2(a)～(d)は，上部構造に被害を受けた建物の建設年と被害の関係を震度地域別に示したものである。

図－3(a)～(d)は，基礎構造に小破以上の被害を受けた建物の建設年と被害の関係を震度地域別に示したものである。

図－4(a)～(e)は，Rの算定されている78棟を対象として建設年とRの関係を震度地域別に示したものである。○は未補強の建物，△は補強済の建物，◇は補強途中の建物，黒塗りは基礎構造に小破以上の被害を受けた建物を示す。

4.2 上部構造の被害

上部構造に小破以上の被害を受けた建物は，調査全地域では1971年以前建設で11%，1972～1981年建設で10%，1982年以降建設で5%（表－2(a)），震度7地域では0%，0%，20%（表－2(b)），震度6強地域では，18%，11%，6%（表－2(c)），震度6弱地域では，8%，5%，4%（表－2(d)）であった。棟数の少ない震度7地域を除けば，建設年代が新しくなるほど小破以上の被害の割合は減少している。

上部構造に大破の被害を受けた建物は3棟あった（図－4(a)）。このうち2棟は震度6強地域の建物（図－4(c)）であったが，いずれも1階柱の曲げ圧壊であった。このうち1棟は1982年以降に新耐震設計法により建設されたピロティ建物で，もう1棟は渡り廊下棟であった。大破の被害を受けたもう1棟は震度6弱地域の1971年以前に建設された建物（図－4(d)）で，1階の桁行き方向の柱の多くがせん断破壊していた。これらの柱ではせん断破壊面でのコンクリートに打設不良が伺われた。

上部構造に中破の被害を受けた建物は7棟であった（図－4(a)）。このうち震動による被害は5棟であった。これらの被害は渡り廊下棟の柱曲げとコンクリートの打設不良に起因する柱のせん断破壊の他に，極短柱のせん断破壊がみられ

表－2 建設年と被害の関係

(a) 調査全地域

建設年	上部構造の被災度					基礎構造の被災度				合計
	無被害軽微	小破	中破	大破	小計	小破	中破	大破	小計	
1971以前	80	7	2	1	90	1	1	3	5	95
	(84)	(8)	(2)	(1)	(95)	(1)	(1)	(3)	(5)	(100)
1972～1981	102	9	1	1	113	1	0	3	4	117
	(87)	(8)	(1)	(1)	(97)	(1)	(0)	(2)	(3)	(100)
1982以降	146	6	1	1	154	0	1	2	3	157
	(93)	(4)	(0.5)	(0.5)	(98)	(0)	(1)	(1)	(2)	(100)
合計	328	22	4	3	357	2	2	8	12	369
	(89)	(8)	(1)	(1)	(97)	(0.5)	(0.5)	(2)	(3)	(100)

(b) 震度7地域

建設年	上部構造の被災度					基礎構造の被災度				合計
	無被害軽微	小破	中破	大破	小計	小破	中破	大破	小計	
1971以前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
1972～1981	3	0	0	0	3	0	0	0	0	3
	(100)	(0)	(0)	(0)	(100)	(0)	(0)	(0)	(0)	(100)
1982以降	3	1	0	0	4	0	1	0	1	5
	(60)	(20)	(0)	(0)	(80)	(0)	(20)	(0)	(20)	(100)
合計	6	1	0	0	7	0	1	0	1	8
	(74)	(13)	(0)	(0)	(87)	(0)	(13)	(0)	(13)	(100)

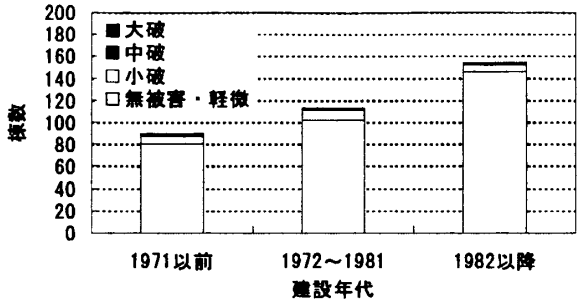
(c) 震度6強地域

建設年	上部構造の被災度					基礎構造の被災度				合計
	無被害軽微	小破	中破	大破	小計	小破	中破	大破	小計	
1971以前	20	4	1	0	25	0	1	2	3	28
	(71)	(14)	(4)	(0)	(89)	(0)	(4)	(7)	(11)	(100)
1972～1981	23	2	0	1	26	1	0	2	3	29
	(78)	(7)	(0)	(4)	(89)	(4)	(0)	(7)	(11)	(100)
1982以降	34	0	1	1	36	0	0	1	1	37
	(91)	(0)	(3)	(3)	(97)	(0)	(0)	(3)	(3)	(100)
合計	77	6	2	2	87	1	1	5	7	94
	(82)	(7)	(2)	(2)	(93)	(1)	(1)	(5)	(7)	(100)

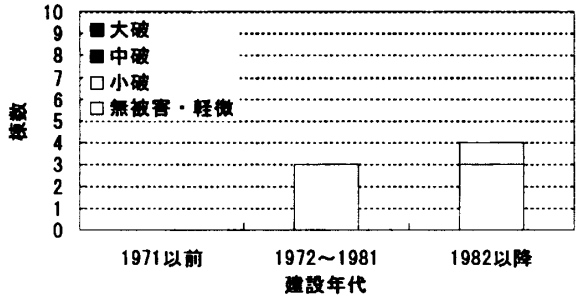
(d) 震度6弱地域

建設年	上部構造の被災度					基礎構造の被災度				合計
	無被害軽微	小破	中破	大破	小計	小破	中破	大破	小計	
1971以前	56	3	1	1	61	1	0	1	2	63
	(89)	(5)	(1.5)	(1.5)	(97)	(1.5)	(0)	(1.5)	(3)	(100)
1972～1981	73	4	0	0	77	0	0	1	1	78
	(94)	(5)	(0)	(0)	(99)	(0)	(0)	(1)	(1)	(100)
1982以降	101	4	0	0	105	0	0	1	1	106
	(95)	(4)	(0)	(0)	(99)	(0)	(0)	(1)	(1)	(100)
合計	230	11	1	1	243	1	0	3	4	247
	(93)	(4)	(0.5)	(0.5)	(98)	(0.5)	(0)	(1.5)	(2)	(100)

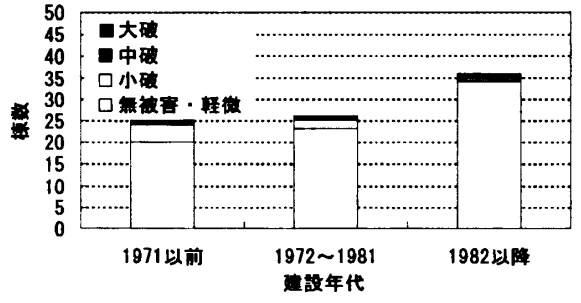
NII-Electronic Library Service



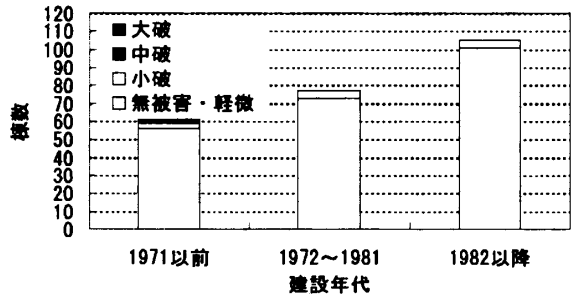
(a) 調査全地域



(b) 震度7地域

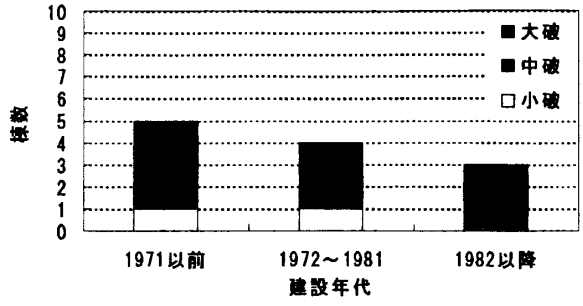


(c) 震度6強地域

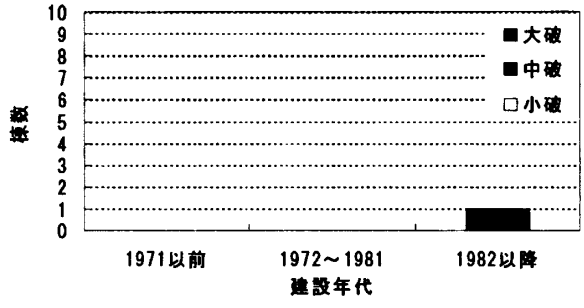


(d) 震度6弱地域

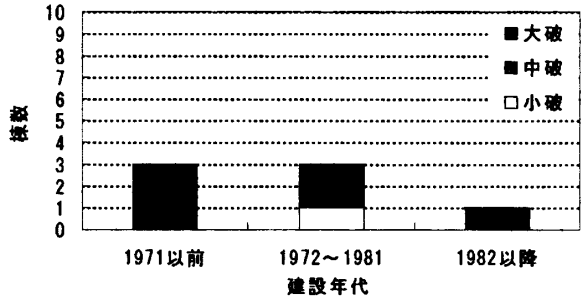
図－2 建設年と上部構造の被害の関係



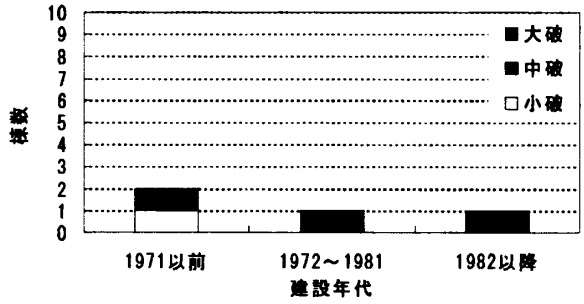
(a) 調査全地域



(b) 震度7地域



(c) 震度6強地域



(d) 震度6弱地域

図－3 建設年と基礎構造の被害の関係

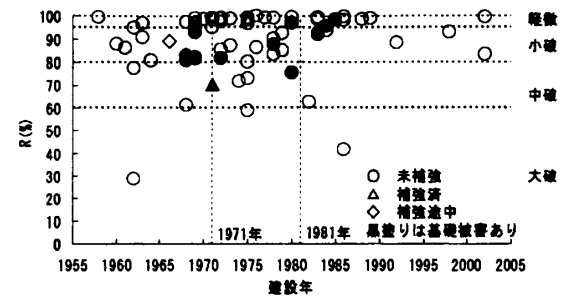
た。また，震度5強地域でも2階の極短柱のせん断破壊による中破の被害がみられた（図－4(e)）。

1982年以降に新耐震設計法で建設された建物で上部構造に中破以上の被害を受けたものは2棟あり、いずれも1階柱の曲げ破壊であった（図－4(a)）。

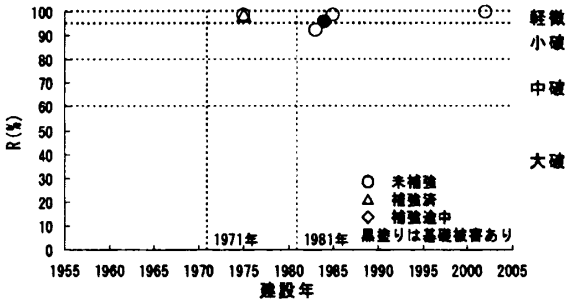
4.3 基礎構造の被害

基礎構造に小破以上の被害を受けた建物は12棟あった（表－2(a)）。小破2棟，中破2棟，大破8棟で，建設年代には相関が見られなかった。この中で，杭基礎建物は11棟で，直接基礎は小

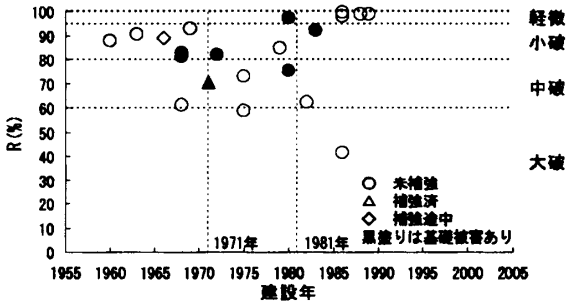
NII-Electronic Library Service



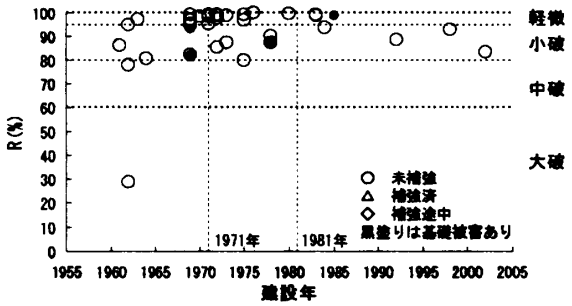
(a) 調査全地域



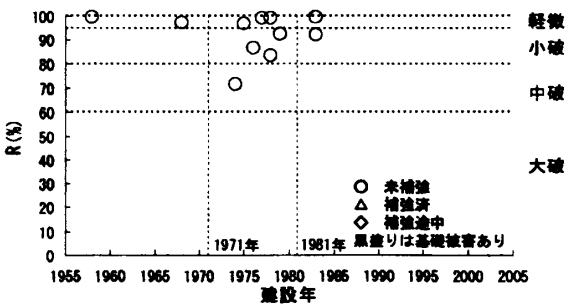
(b) 震度7地域



(c) 震度6強地域



(d) 震度6弱地域



(e) 震度5強地域

図－4 建設年と耐震性能残存率Rの関係

破の1棟であった。

大破の被害を受けた建物8棟のうち7棟は盛土と切土にまたがって建物が建設され，盛土側の地盤の崩落により建物が傾斜した。この中で，杭が露出し，せん断破壊が確認された建物もある。また，不同沈下を生じず、10cm沈下し中破となった建物があった。補強された建物にも杭基礎に大破の被害を受けたものが1棟あった。

5. 耐震診断の結果と被害の関係

地震時の構造耐震指標Isが確認できた58棟を対象として，Is値と建設年の関係を図－5に示す。○は未補強の建物，△は補強済の建物，◇は補強途中の建物を示す。

また，図－5と同じ58棟を対象として，構造耐震指標Isと耐震性能残存率Rの関係を図－6(a)～(d)に震度地域別に示す。ただし，Is値が算定されていてもRが算定されていない建物は，文献[1)]の調査結果あるいは聞き取り調査により被害程度が軽微であることを確認し，R=97.5(%)として図示した。○は未補強の建物，△は補強済の建物，◇は補強途中の建物，黒塗りは基礎構造に小破以上の被害を受けた建物を示す。

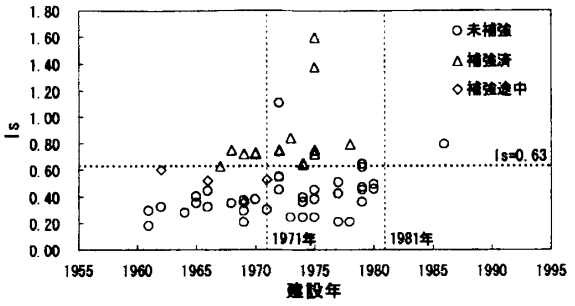
なお，本報告では，文部科学省の定めるRC造学校建物の構造耐震判定指標Iso=0.7に新潟県の地域係数Z=0.9を乗じたIso=0.63を用いる。

調査全地域では，大破の被害を受けた建物が1棟，中破の被害を受けた建物が3棟あった。また，Is値が基準値Isoを上回っている建物の被害は，小破，中破，大破でそれぞれ1棟ずつあった（図－6(a)）。ただし，大破の被害を受けた1棟は，震度6強地域のピロティ建物で，1階柱の曲げ破壊であった（図－6(c)）。小破と中破のそれぞれ1棟は，いずれも震度6強地域の基礎構造に被害を受けた建物であった（図－6(c)）。

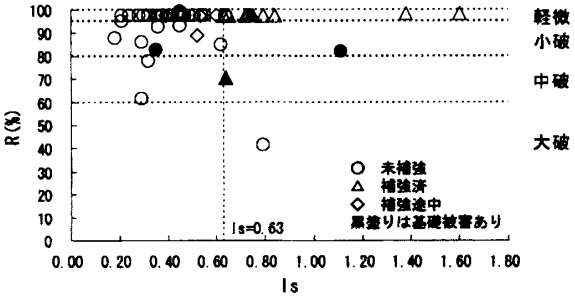
震度7地域では，耐震化率が高いことは前述したが，旧基準で設計された建物1棟を含む全建物3棟の被害は軽微であった（図－6(b)）。

震度6弱地域では，小破と小破に近い中破の

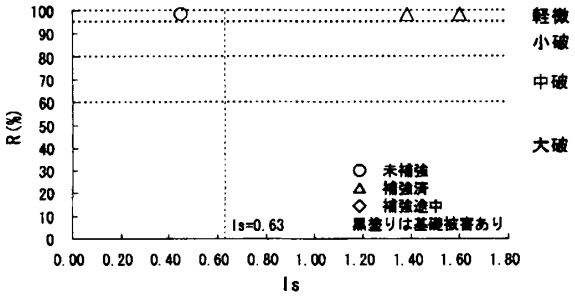
NII-Electronic Library Service



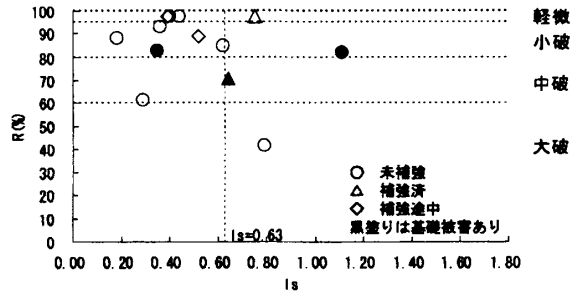
図－5　建設年と構造耐震指標 Is の関係



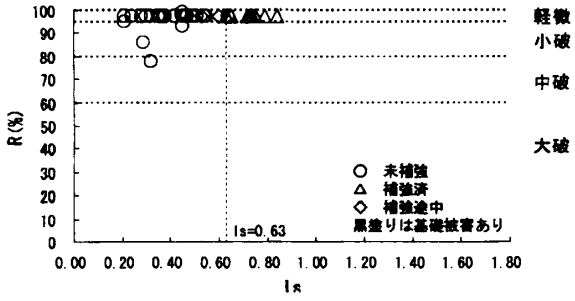
(a)　調査全地域(58 棟)



(b)　震度 7 地域(3 棟)



(c)　震度 6 強地域(13 棟)



(d)　震度 6 弱地域(42 棟)

図－6　構造耐震指標 Is と耐震性能残存率 R の関係

被害を受けた建物が計 3 棟見られるが， Is 値に関わらずほとんどの建物の被害が軽微に収まっている（図－6(d)）。

6. まとめ

(1)震度 7 地域では耐震化率が高く被害が少なかった。

(2) 建設年と被害の関係からは，建設年代が新しくなるにつれ被害の割合は少なくなった。新耐震基準による建物では，ピロティ建物と渡り廊下棟の 1 階柱には大きな被害が見られたが，それを除けば小破の被害におさまった。

(3)耐震診断結果と被害の関係からは，Is 値が基準値 Iso=0.63 を下回っていた建物の被害は軽微から中破まであったが，Is が基準値を上回っていた建物の被害は，ピロティ建物と基礎構造に被害を受けた建物を除けば，軽微におさまっていた。

謝辞　本報告のために日本建築学会の文教施設の耐震性能等に関する調査研究委員会（主査壁谷澤東京大学地震研教授）の報告書，新潟県設計協同組合内の耐震判定会の耐震診断報告書，および新潟県保有の施設台帳のデータを使わせて頂きました。また，調査にあたり中村友紀子講師（新潟大学自然系）に多大な援助を頂きました。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1) 日本建築学会：2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震の災害調査速報
2) 日本建築学会:文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書，平成 17 年 3 月
3) 本多良政，加藤大介，中村友紀子：2004 年新潟県中越地震における耐震補強した RC 造建築物の被害，日本建築学会北陸支部研梗概集，平成 17 年
4) 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 造建物の耐震性能に関する考察，日本建築学会大会，平成 17 年
5) 日本建築防災協会:再使用の可能性を判定し，復旧するための震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針，平成 13 年 9 月

NII-Electronic Library Service