論文　ＲＣ建物の耐震診断における耐震壁の回転条件に関する基礎的考察

久保田　謙三[*1]・畑中　重光[*2]・加藤　義幸[*3]

要旨：ＲＣ造建物の耐震診断法には１次～３次のレベルがあるが，それぞれ仮定条件が異なるため，一般にはすべての診断法を適用して，その結果を総合的に判断するのが良い。しかし，実際は一部を除いて多くの場合は第２次診断法による検討までしか行われていないのが現状である。主要な要素である耐震壁に着目すると，第２次診断法で壁の耐力を増加させる補強設計を行っても，実際には壁の回転が生じて補強効果が十分に得られていない場合がある。そこで，本報では第３次診断法で壁の破壊が回転で決まる場合の抵抗機構について検討し，耐震壁による補強をより有効に行うための考察を行った。

キーワード：鉄筋コンクリート建築物，耐震診断，耐震壁，基礎回転

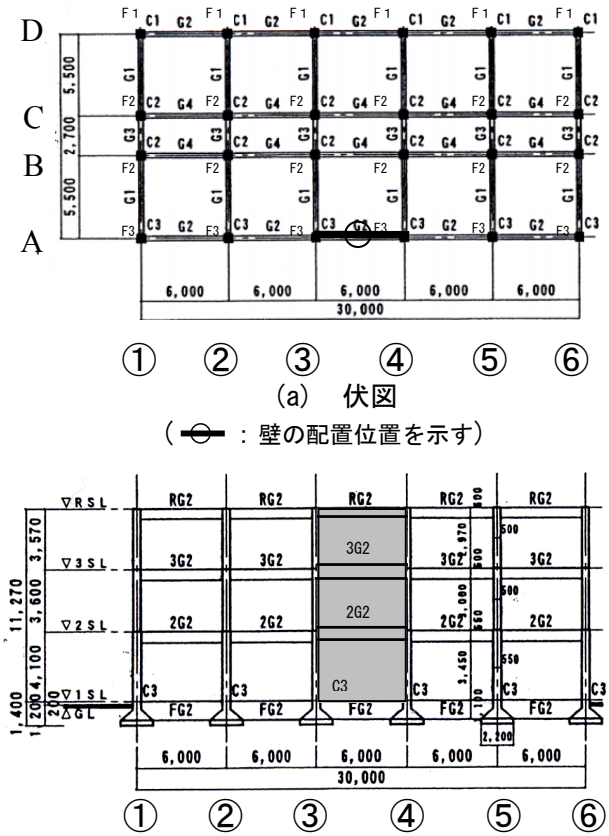
1.　はじめに

兵庫県南部地震から９年が経過し，最近では，東海地震や東南海・南海地震の被害想定も盛んに行われている。その防災対策の一つとして耐震診断が挙げられるが，多くは日本建築防災協会による「既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準」[1)]に基づいて行われている。

耐震診断法[1)]は原則として，診断法の次数が上がるほど算定方法は詳しくなり，それに伴い結果の信頼性が高まるように構成されている。しかし２次診断と３次診断の関係はやや複雑であり，これらの関係については，既にいくつかの研究[2)~4)]が報告されている。また，福田ら[5)]は同じ基準で同じ建物を診断したとしても構成材料に関わる仮定条件，部材のモデル化や強度評価式の相違により診断結果が大幅に異なる場合があると指摘している。

一方，加藤ら[6)]は兵庫県南部地震の実被害と３次診断での壁の破壊形式が異なることを指摘している。すなわち，壁の回転抵抗として引き抜き耐力をある程度考慮すると実被害通りのせん断破壊に移行したと報告している。

本論では，まず連層耐震壁を含んだ建物について，２次診断と３次診断の水平耐力（強度指標Ｃ），靭性（靭性指標Ｆ），およびこれらを総合した評価指標である保有性能基本指標（E_0）が，



図－1　診断建物の概要[8)]

*1 三重大学大学院　　工学研究科建築学専攻前期課程　(正会員)
*2 三重大学　　工学部建築学科教授　工博　(正会員)
*3 日本土建株式会社　建築部設計課　工修

どのように異なるかを調べる。次に，３次診断の結果で壁の破壊が回転で決まる場合の抵抗機構について検討し，耐震補強時の壁配置のための基礎資料を得る。

2.　耐震診断の概要

2．1　耐震診断方法

耐震診断方法は文献 1）に準じる。使用した診断プログラムを文献 7）に示す。２次診断と３次診断の比較の方法は，次のような手順で行う。なお，比較検討を行う階は，１階とする。

1)　まず，連層耐震壁を含まないフレームだけの場合と連層耐震壁を含んだ場合の耐震診断を行い，診断次数の影響について比較検討を行う。

2)　次に連層耐震壁を含んだ建物について要因別の耐震診断を行う。

2．2　建物の概要

建物概要を**図－１**に示す。対象とする建物は，1970 年代の標準的な学校建築で，５×３スパンの鉄筋コンクリート造３階建てとし，梁形状，柱形状，壁形状は文献 8）の例題で取り扱われている建物に従うものとする。本研究では，１階の診断結果についてのみ考察を加える。

2．3　診断の要因と水準

表－１に基本水準を示す。以下に計算上の設定事項を示す。

(a)　解析方法：フレームは節点振分法，
　　耐震壁は仮想仕事法

(b)　地震力の加力方向：左加力

(c)　地震力の分布：等分布

(d)　基礎重量:(F1･F3) 113.8kN, (F2)　158.8kN

(e)　基礎の圧縮耐力：無限大

(f)　梁のせん断耐力：τ=0.5kN/mm^2

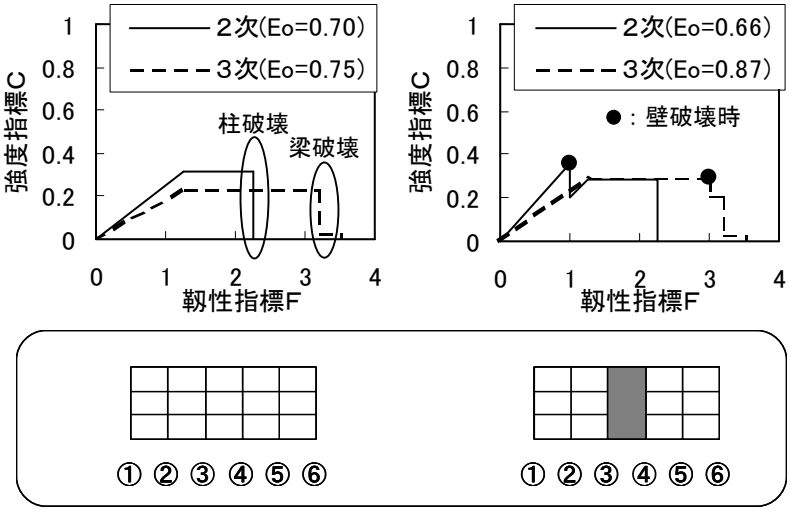
(g)　外縁からの鉄筋重心位置：(柱・梁) 5 cm
　　(基礎梁) 7 cm

(h)　鉄筋材料:SR245

表－１　基本水準

コンクリート強度指標			14.7kN/mm^2
単位床荷重			11.8kN/m^2
部材	柱	柱寸法(D×D)(注1)	55x55cm
		柱主筋径	ϕ19
		h_0/D(注2)	6.3
	梁	梁主筋径	ϕ19
	壁	壁厚	20cm
		壁筋径	ϕ9
		壁筋間隔	20cm(W)
		壁の位置(平面)(注3)	中央
		連層数(注4)	3連層
		連スパン数(注5)	1連スパン
		直交壁	無し

(注 1) １階柱寸法　(注 2) h_0/D は全てのフレームに腰壁たれ壁がないため h_0/D=6.3 となっている。h_0 は柱クリア高さ。(注 3) 中央とはＡフレーム３～４間への壁の配置を示す。(注 4) １階からの壁の連層数を示す。(注 5) Ａフレーム３～４間を中心に壁の連スパン数を示す。



(a)　フレームのみ　　(b)　フレーム＋壁

図－２　基本水準における壁の有無の影響

3.　基本水準の耐震診断結果

図－２に壁の有無の影響について示す。**図－２(a)**はフレームのみの場合，また**図－２(b)**はフレームに壁を配置した場合を示している。図中の黒丸 ● は，壁の靭性指標の決定位置を示す。**図－２(a)**から分かるように，対象建物は，２次診断では曲げ柱の破壊が支配的であり，３次診断では柱破壊より梁破壊が先行する建物であることがわかる。一方，**図－２(a)**と**(b)**を比較すると，２次診断では建物の E_0 値は壁配置の有無

でほとんど変わらず，３次診断では壁が回転で評価されたため E_0 値は若干増加している。他の要因の影響については紙面の都合上割愛する。結果は文献 9)を参照されたい。

4.　耐震壁の回転条件に関する耐震診断

本章では，連層耐震壁の回転を抑止し，壁配置による補強効果を充分に引き出すための条件について検討する。

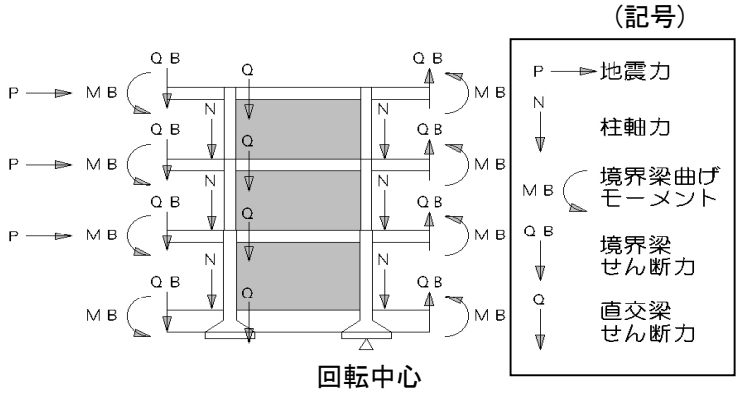
4.1　対象構造物および外力の概要

最下階から連なる連層耐震壁を，それに接続する柱・梁と共に取り出し，以下の３つの崩壊形式について各階の荷重係数を算出し，そのうちの最小のもので耐力を決定する。

・回転（基礎の浮き上がり）
・曲げ降伏
・せん断降伏

このとき，周囲の柱，梁は全て終局状態にあるものと仮定する。なお，今回の解析では外力分布は等分布とし，基礎の沈み込みによる破壊形式は考えない。図－３に連層耐震壁に作用する外力のモデル図を示す。

4.2　壁の回転を止める要因について



図－３　連層耐震壁の外力モデル

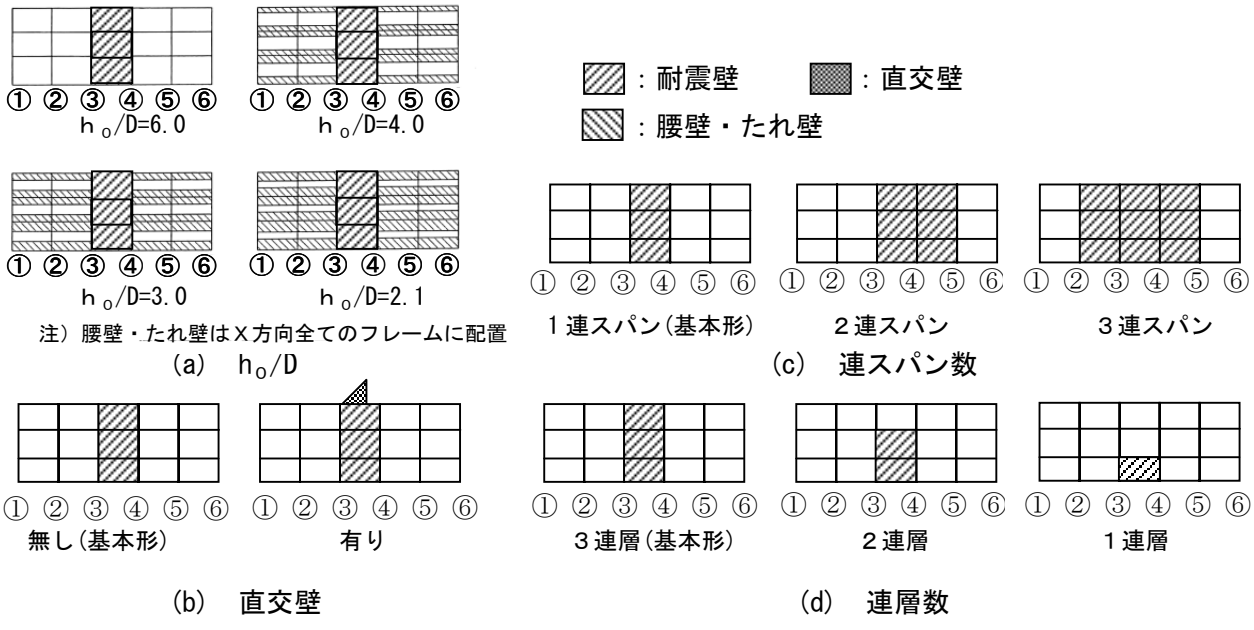
表－２　壁の回転に対する境界フレームの抵抗力

壁の回転を止める要因	回転耐力 ΣPi(kN)
軸力	477
境界梁（曲げ・せん断）	342
直交梁	296
合計	1113

表－３　回転抵抗要因と水準

要因	基本形	水準
単位床荷重	11.8kN/m^2	9.8、13.7、15.7
h_0/D (注1)	6.3	4.0、3.0、2.1
直交壁 (注2)	無し	有り
連スパン数 (注3)	1連スパン	2連、3連
連層数	3連層	2連層、1層

（注 1)h_0/D が要因となるように、全てのフレームに腰壁たれ壁を設ける。腰壁・たれ壁の壁厚は、15 cm、配筋は、R9－@200(S)とする。なお、h_0/D=2.1 は、2.0 とするところを極短柱を避けるために 2.1 とした。(注 2) ３通りＡ～Ｂ間に連層で直交壁を設ける。直交壁の壁厚は、15 cm、配筋は、R9－@200(S)とする。(注 3) Ａフレーム３～４間を中心に壁の連スパン数を示す。



図－４　回転抵抗要因の説明図

診断結果に基づき，壁の回転を止める要因について検討する。すなわち，前節で取り上げた建物のＡ通り３～４間に壁厚20cm(D10-@200)の連層耐震壁を配置した場合について，軸力・境界梁・直交梁（直交壁を含む）が壁の回転耐力にどのように影響するか検討する。

(1)　壁の回転耐力

軸力・境界梁・直交梁の抵抗力をそれぞれ壁の回転耐力(第１層に加わるせん断力)に換算した結果を**表－２**に示す。なお，**表－３**および**図－４**に検討の対象とした要因と水準を，**表－４**に要因別による壁の２次診断と３次診断時の耐力・破壊形式を示す。ここでは紙面の都合上，連スパン数を除いた要因について考察する。２次診断の壁の耐力に対する３次診断の回転耐力を軸力・境界梁・直交梁ごとに寄与率で示すと，連層数別に**図－５**，**図－６**のようになる。なお，３次診断法に対する枠内の数字は各破壊モード時の水平力の和ΣPiの値を表す。以下，３次診断結果に対し２次診断結果がどれだけ近いか，また壁の補強効果を２次診断法で評価したときにどの程度過大評価する危険性があるかを考察する。**図－５(a)**によれば，３連層の場合，３次診断による壁の耐力が曲げ破壊で決定するには現状の約２倍の回転耐力が必要であることが分かる。また，**図－６(a)**によれば，連層数が１連層になると２次診断の１階壁耐力はせん断破壊で決まり，回転耐力との差はより大きくなる。

(2)　軸力による抵抗

軸力への影響要因として単位床荷重を取り上げる。単位床荷重 15.7kN/m^2 の場合について２次診断の壁耐力に対する３次診断の回転耐力を要因別の寄与率で示すと，連層数別に**図－５(b)**および**図—６(b)**になる。３連層の場合，床荷重が 11.8kN/m^2 から 15.7kN/m^2 へ変化すると，柱軸力も 1.3 倍になる。一方，回転耐力の伸びは 1.1 倍である。また，床荷重が増すことにより，それぞれの破壊に対する耐力が増加し，回転抵抗も増加するものの，壁の回転を抑止する効果は小さい。また，連層数による違いを見ると，１連層の場合が３連層に比べ，軸力による回転耐力への寄与率が若干大きい結果となった。

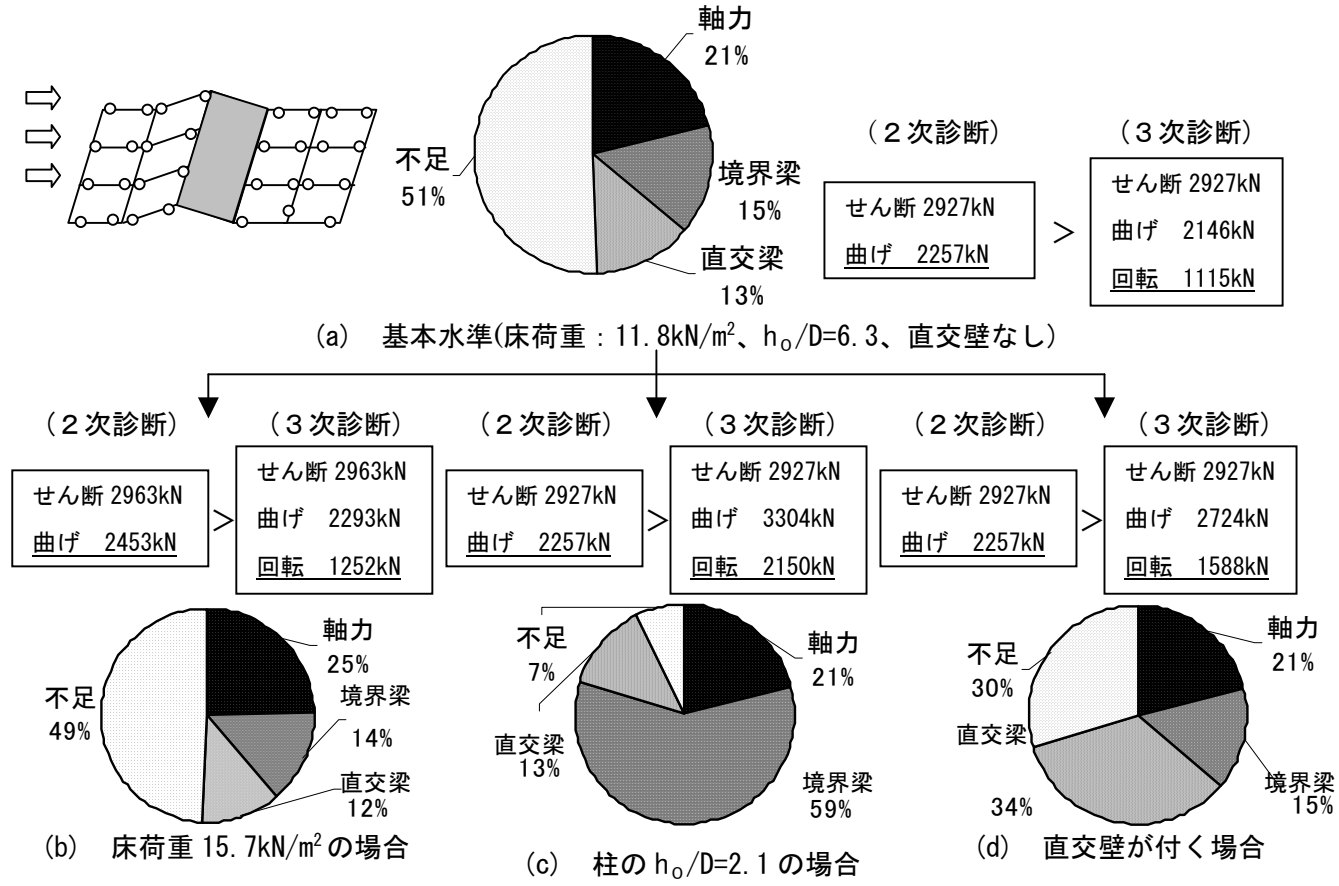
(3)　境界梁による抵抗

境界梁の影響要因としては，梁の寸法，梁主筋径などがあるが，ここでは柱の h_0/D に関わる腰壁・たれ壁の効果を取り扱う。h_0/D=2.1 の場合，２次診断の壁耐力に対する３次診断の壁回転耐力を要因別の寄与率に分解して示すと，各連層数別に**図－５(c)**および**図－６(c)**になる。基本形の腰壁・たれ壁のない状態(h_0/D=6.3)から腰壁・たれ壁により h_0/D=2.1 となることで，３連層の場合，回転耐力が 1.9 倍に増大した。これにより回転耐力は，２次診断時の壁耐力(曲げ破壊)をわずかに下回る程度になった。一方，壁の回転耐力が増すことにより，せん断耐力との差，すなわち，せん断余裕度が低下したため，靭性指標は F=3.0 から F=1.75 へと減少した。また，連層数による傾向の違いは，あまり顕著には見られなかった。

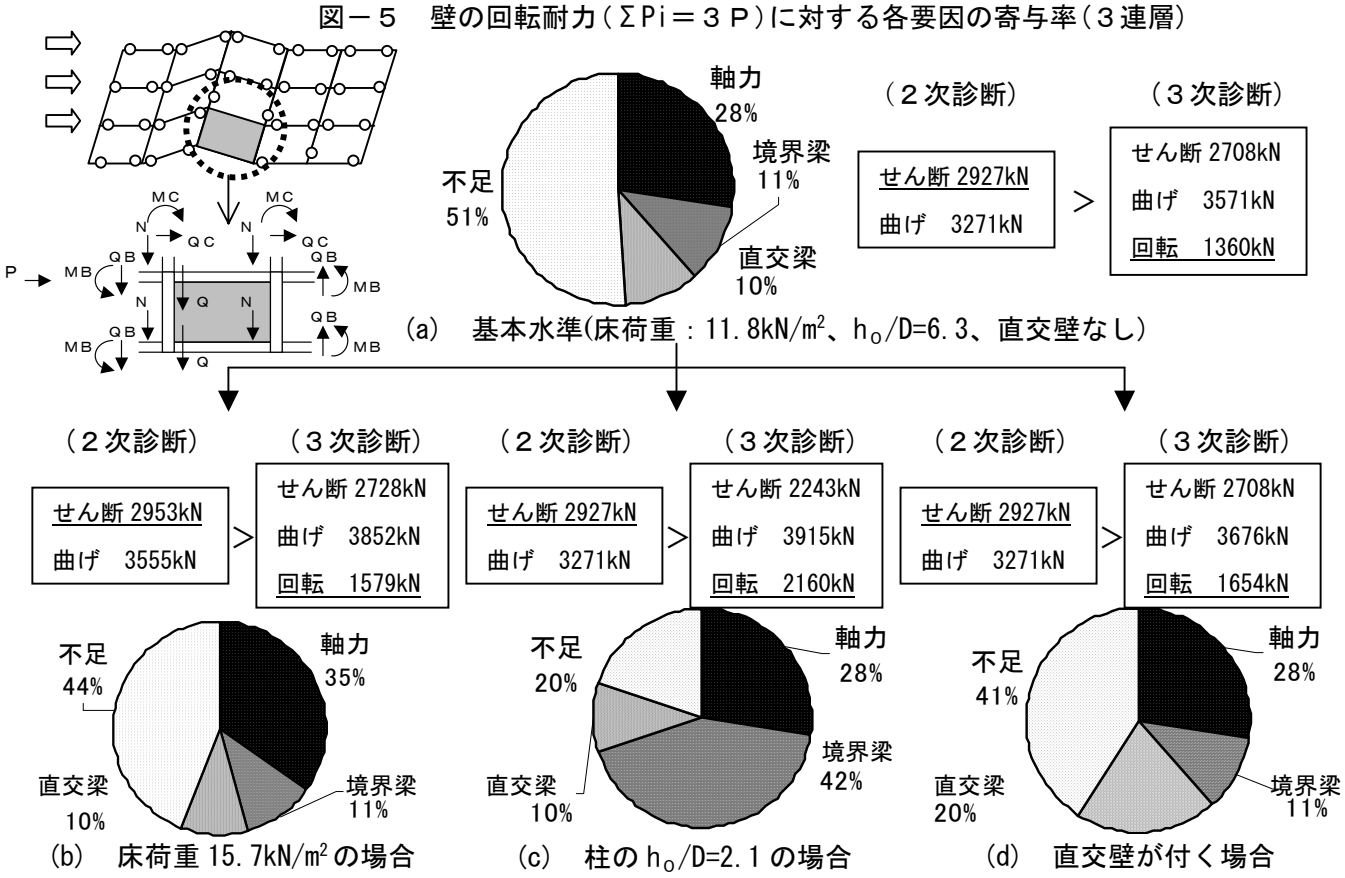
表－４　要因別による壁の２次診断と３次診断時の耐力・破壊形式

要因	水準	2次診断		3次診断		２次の強度／３次の強度
		壁の強度(kN)	破壊形式	壁の強度(kN)	破壊形式	
単位床荷重	9.8	2159	曲げ	1047	回転	2.06
（kN/m²）	11.8	2257		1115		2.02
	13.7	2355		1183		1.99
	15.7	2453		1252		1.96
ho/D	6.3	2257	曲げ	1115	回転	2.02
	4			1616		1.40
	3			1880		1.20
	2.1			2150		1.05
直交壁	無し	2257	曲げ	1115	回転	2.02
	有り			1588		1.42
連スパン数	1連ｽﾊﾟﾝ	2257	曲げ	1115	回転	2.02
	2連ｽﾊﾟﾝ	5162	せん断	2826		1.83
	3連ｽﾊﾟﾝ	7277		5349		1.36
連層数	3連層	2257	曲げ	1115	回転	2.02
	2連層	2927	せん断	1134		2.58
	1連層	2927		1360		2.15

円全体の面積は２次診断での壁の水平耐力（せん断または曲げ破壊時）を表す。「不足」を除く部分が３次診断での壁の水平耐力を表す。



図－５　壁の回転耐力（ΣPi＝３Ｐ）に対する各要因の寄与率（３連層）



図－６　壁の回転耐力（ΣPi＝Ｐ）に対する各要因の寄与率（１連層）

(4) 直交梁による抵抗

直交梁のせん断耐力の影響が大きくなる場合としては，当該壁の回転に影響する直交フレームに壁が付いて直交壁になる場合が考えられる。なお，ここで取り上げる直交壁は，壁厚 15 cmとし，壁断面積当たり 0.5N/mm^2 のせん断抵抗をするものとする。直交壁の配置位置は，３通りのA-B 間とする。直交壁が付いた場合の２次診断の壁耐力に対する３次診断の回転耐力を各要因の寄与率で示すと，連層数別に**図－５(d)**および**図－６(d)**になる。直交梁に壁が付き直交壁になることにより，３連層の場合，回転耐力は 1.4 倍に増加した。２次診断の曲げ耐力と比較して，直交壁の占める割合が 34%であり，回転を止めるためにはまだ 30%不足している。

今回の壁配置では，回転を検討する耐震壁が外壁に配置されているため，直交壁が A～B 間の片側だけの配置であった。評価する耐震壁が建物内部の壁であれば，耐震壁の両側に直交壁が入ることも考えられ，そのような場合は，直交壁のみで回転を抑える事は十分可能と思われる。

5. まとめ

本研究により，以下の知見を得た。

1) 耐震診断を第３次診断法[1)]による場合，耐震壁は回転する可能性が高い。
2) 連層耐震壁の３次診断結果で，壁の回転が止まるとすれば，直交壁や境界梁の効果が大きく影響する。
3) 境界梁に腰壁やたれ壁が付いた場合，浮き上がり側に直交壁が付いた場合，浮き上がり側柱の負担床面積が大きく柱軸力がとくに大きい場合などの条件が重なった時に，３次診断で壁の破壊形式が回転から曲げもしくはせん断に変わると考えられる。

なお，診断基準に基づいた本計算例では壁の破壊形式は全て回転であったが，基礎の重さが充分に大きい場合，また杭の回転抵抗を考慮した場合には回転が抑止される可能性がある。今後，杭および床スラブの影響なども考慮し，より詳細な検討を行いたい。

【謝辞】本研究に際し，小濵芳朗教授（名古屋市立大学）にご助力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

1) 日本建築防災協会：2001 年改訂版・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，2001
2) 福田浩史･畑中重光：RC 建物の耐震診断結果に及ぼす諸要因の影響に関する基礎的考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No3，1998
3) 上野健二，久保哲夫：耐震診断結果による既存 R/C 造建築物の耐震性能の評価（その２：1995-96 年度の診断結果のデータベース化と第３次診断結果の分析），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.61-62，1998
4) 片渕重幸，広沢雅也：関東地方 A 県下における学校校舎の耐震性能（その５）I_{s2}と I_{s3} の関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.621-622，1998
5) 濱口貴裕，広沢雅也：関東地方 A 県下における学校校舎の耐震性能（その 24：A 型校舎における耐震性能の評価），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.793-794，2001
6) 加藤大介･南谷長俊：兵庫県南部地震における低層 RC 造建物の崩壊形の検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No2，1997
7) 構造ソフト：BUILD.耐診 RCⅠ&Ⅱ/BUILD.耐診 RCⅢ，2002
8) 日本建築防災協会：改訂版・既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準適用の手引，1990
9) 久保田謙三，加藤義幸，畑中重光：ＲＣ建物の耐震診断と耐震補強に関する基礎的研究―２次診断と３次診断の比較検討―，東海支部研究報告集，pp.325-328，2004