

1986年11月15日台湾地震被害調査報告

1. まえがき
2. 地震概要と発生機構
3. 地震の被害概要
4. 台北市の地盤及び地震動特性
5. 台湾の耐震設計
6. 建物被害概要
7. むすび

西川孝夫*
世良耕作**
周義敦**

要 約

台湾は日本と同様に環太平洋地震帯に属し、地震の多発する国である。又その地震発生機構もきわめてよく類似している。今回の地震は台湾の東海岸沖合で発生したものであるが、特に建築構造物の被害は震央から約110km離れた台北市で集中的に生じた。又、建物階数にして10～15階建の近代建築に被害が集中しているのが特色である。地形的に見ると台北市は軟弱地盤からなる盆地上に位置している。今回の地震の被害状況は1985年のメキシコ地震によるメキシコシティの被害状況ときわめて良く類似していることは興味のあるところである。

メキシコ地震の種々の調査結果、又今回の地震被害調査の結果等から、これら盆地状地の地震動特性を解明し、それを構造物の耐震設計に反映させることの必要性を痛感した。

1. まえがき

1986年11月15日早朝、台湾東部花蓮沖合で地震が発生し、震源から110km離れている台北県中和市で建物が崩壊し、多数の死傷者が出たとの情報を得た。筆者等は地震発生から4日後の11月19日に台北市に到着し、同市及びその周辺部の被害現場を3日間と言う限られた日数で足速に視察した。現地の新聞は今回の地震は1964年以来の大地震で、11月20日までに100回以上、その後12月8

日現在で300回以上の余震を記録していると報じ、大きな地震であったことを強調している。本報告書は短期間で我々が得た情報や資料をもとに被害調査報告としてまとめたものであるが、情報不足、資料の確認不足等により、部分的に不正確な記述があるかも知れないが御容赦いただきたい。

2. 地震概要と発生機構

台湾中央気象局が発表した今回の地震の概要は

*東京都立大学工学部

**日本設計事務所構造設計部

発生時刻	1986年11月15日 午前 5時20分
マグニチュード	6.8
震源位置	北緯24度22分, 東経 121度09分, 深さ10km

となっている。

図-1に台湾中央気象局発表の震央位置と台湾各地の震度分布を示した。この震度階は図-2に示すように日本の震度階の分類とほぼ同じである。

台湾は環太平洋地震帯に属し、沖縄からフィリピンに続くフィリピン海プレート北西線の中で特異な位置を占めており、そのテクトニクスは極めて複雑で、地震活動も活発である。Wu¹, Hsu²の報告によると、台湾のテクトニクス模式図は図-3のとうりである。東部台湾の北部から琉球海溝末端の北にかけて、けわしい南落の海底崖(A)があり、その北側にやや深発地震が発生しており、北方傾斜のベニオフゾーンの存在が指摘されている。また台湾東部では、東部中央山脈と東部海岸山脈との間に、ほぼ南北に走る大構造線(B)があり、この地域で浅発地震が多発している。この構造線以西は大陸性の構造を示し、以東は海洋性の構造を示している。この構造線がフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界をなしており、両プレートは、台湾東部で左横ズレの成分を若干持ちながら衝突していると考えられる。台湾の南部では、また異なったタイプのテクトニクスが存在しているようで、ユーラシアプレートがフィリピン海プレートの下に沈みこむと考えられている。このような複雑なテクトニクスを反映して、台湾の地震活動は活発である。

1897~1979年までの凡そ80年間のマグニチュード5.0以上の災害地震の震央分布を図-4に示す。

また1900年代の大被害地震(死者15人以上)の一覧を表-1にまとめた。今回の地震は1964年以来22年ぶりの大地震ということになる。

3. 地震の被害概要

11月17日、内政部警政署発表による被害概要は

以下の様である。

死者	12名
行方不明者	1名
重傷者	16名
軽傷者	27名
建物全壊	36棟
建物半壊	26棟

その他、日本との海底ケーブル切断、一部水道管切断、停電等があったがまもなく回復した。また震源に近い花蓮港では港湾施設に被害が生じたり、その近くで山崩れが発生した。なおこの後の新聞報道によると、死者15名、重軽傷者41名とある。

4. 台北市の地盤及び地震動特性

台北市は台湾の北部に位置し、周辺を山または丘にかこまれた盆地であり、今回の地震で多くの被害を生じた旧台北市は、市の西部を流れる淡水河と北部を流れる基隆河とにかこまれたデルタ地域に位置している。平均50mの厚さをもつ表層地盤は、シルト質粘土、シルト質砂が互層をなす、かなり軟弱な地盤である。したがって高層建築は一般にGL-50m程度を支持層としているようである。

しかし地盤調査のデータはほとんど無く、盆地全体の地層構成の詳細は不明であるが、この表層地盤のせん断波速度は、150~200m/秒程度と推定され、過去の地震記録のフーリエスペクトル、あるいはレスポンススペクトルにも0.8~1.5秒程度に卓越する特性が見られる。一方台湾の東海岸地域は、一般に良い地盤といわれており、震源に近い花蓮も地表から岩盤であり、地震による被害例は極めて少ないとされている。

図-5は今回の地震の際、震源から110km離れた台北市の西部に位置している中正記念堂敷地の地表面で記録された強震記録波形³⁾の一つである。この記録(EW成分)の最大加速度は79.5galであるが、14秒位のところと23秒位のところの2箇所にはほぼ同じような最大値のピークが生じていること、波形の後半部分は比較的長周期の波形があ

まり減衰しないで続いていることなど、前述の台北盆地特有の地盤特性を反映していると考えられる。この記録の加速度応答スペクトルを図-6に示した。また震源に近い花蓮では300galを越す加速度が記録されたと報道されているが、そのデータは入手できなかった。

参考のために今回の地震の約半年前の5月20日午後1時25分、花蓮の北方約10km沖合（北緯24度06分、東経121度06分）深さ10kmで発生したマグニチュード5.8の地震の際、中正記念堂の南東約1kmの場所に建つ27階建ての台電大楼のB3階で観測された強震記録による応答スペクトル³を図-7に示した。

いずれのスペクトルにも長周期部分にも卓越する性質があり、最大加速度の大きさに較べて、比較的破壊力の強い地震動が生じていることを示している。

5. 台湾の耐震設計

1974年以前は、日本の震度法が採用され、設計用地震力は

$F = KW$ (但し水平震度 K は0.1以上とする) の式によりもとめていた。しかし1974年に米国の $U \cdot B \cdot C$ コードを参考にしてベースシア係数法により地震力をもとめる方法に変更され、それによると設計用全地震力は次式によって定められている。

$$V = Z K C W$$

Z は地域係数で 1.25, 1.00, 0.75

K は構造特性係数で0.67, 0.80, 1.00, 1.33, 2.0, 3.0

なお充分な靱性の期待出来る構造では0.67, 脆性構造、壁式構造では1.33となる。 C は基準ベースシア係数で地盤の種別に関係なく建物の一次固有周期 (T) により

$$C = \frac{0.1}{\sqrt[3]{T}} \leq 0.1$$

で与えられている。(但し30m以下あるいは10階建て以下の場合には一律に C を0.1とする。)

さらに1982年にこれに修正が加えられ以下のように改訂され今日に至っている。

$$V = Z K C I W$$

$Z = 1.0, 0.8, 0.6,$ $K = 0.67, 0.8, 1.0, 1.33, 2.0, 2.5,$

I は重要度係数で1.0, 1.25, 1.5となっている。 C は次式によっているが、地盤種別の違いは従来のもと同様考慮されていない。

$$C = \frac{1}{8\sqrt{T}} \leq 0.15$$

図-8に改訂前の基準ベースシア係数と改訂後のそれとを比較して示した。改訂後の基準ベースシア係数は、改訂前に比べて短周期部分で1.5倍に大きくなっている。

6. 建物被害概要

まず被害の全般的な様子を知るために、台湾結構技師公会が地震直後に依頼を受け被害調査をした約300棟の鉄筋コンクリート造建物の被害分類を建物階数別に表-2に示した。大きな被害を受けた建物約40棟のうち、半数の約20棟が10層以上の建物であるのが注目される。これは建物の周期と台北市地盤の卓越周期とに大いに関係があるものと考えられる。また2~3階建ての学校建築にもこの表に表れた数字以上に被害が多かったようである。なお台北市には鉄骨造の建物は少なく、その被害状況は不明である。

次に実際に筆者等が調査した建物の被害の内容を写真と共にしめす。調査期間が限られていたので、調査対象建物の数はすくないが被害の特徴を良く表わしている建物ばかりである。調査した建物は、台北県で浮州市場、仁教国宅社区（公営住宅）、華陽市場（但し建物の大半は、調査時には撤去されていた）、台北市で裕台大楼、監理処、恵宝大楼、桃源国民小学校、中山高中女子校、実践国民小学校、景美女学校の10棟である。しかし外観は全く被害が無くても、一歩建物の中に足を入れると、レンガブロックの間仕切り壁や梁端部にひび割れを発見することが結構あるのを見る

と、もっと密な調査をする必要があるようにも感じている。

1) 浮州市場

1階が市場で2, 3階が住宅の下駄履きアパートのRC造の建物で、完成後14年経過している。建物被害は1階の柱がせん断により破壊し鉄筋の座屈が見られた。建物の1階が崩壊する危険性があるため、丸太材で仮設支柱を設けたり、外から支えたりして、倒壊を防いでいる。この建物は2階以上に被害がないことから、1階の柱のコンクリートをはつり打ち直して再使用するようであったが、補強対策については不明であった。(写真-1~3)

2) 仁教国宅社区

5階建の団地。被害を受けたのはそのなかの表通りに面した一棟であるが、RCラーメン造で外壁、内壁がレンガ壁の典型的な台湾スタイルの構造である。図-9に示すように2階以上が住宅で、1階が舗道と店舗になっている。全体的に、レンガ壁が柔らかいラーメンの剛性を高める働きをしているが、1階部分でこの壁が一部抜けることにより、この階の剛性が弱くなって、店舗部分、特に桁行方向のレンガ壁に応力集中を生じ大きなせん断ひび割れが発生していた。(写真-4)

3) 華陽市場

3階建で、1階が市場、上階が住宅となっている。平面形は、はり間方向が6.0m×5スパン、けた行方向が6.0m×7スパンで、3方向に約3.5m程度の片持ちが出ている。調査時にはすでに撤去済みで、被害の様子は確認出来なかった。今回の地震による死者の大半は本建物の倒壊によっている。新聞等の報道によると、本建物はその建設経緯に種々のトラブルがあり、施工的に欠陥構造物であった可能性が高いとの事である。わずかに残存している部分から、破壊は1階の柱のせん断破壊に伴う圧壊と想像される。(写真-5~6)

4) 裕台大樓

竣工後5年余りを経過した地上14階、地下2階の建物である。平面形は図-10に示すように凸型のシンプルな形状で、建物端部に連層のRC壁があり、これらの壁がすべての水平力を負担する構造設計になっている。被害はこの建物北側端部の壁が1階脚部で曲げ破壊し柱が圧壊している事である。しかもこの壁が1階梁上りで切れ、面外に移動し建物内側にめりこむかたちで1階のスラブ上に乗っているため、このスラブに大きなひび割れが生じた。更にこの壁に支持されていた部分が約1m沈下し傾斜したために、この壁に直交しているプレストレス入りの梁が内側の柱位置で折れ、梁端部のコンクリートが大きく圧壊した。特に梁貫通スリーブのある箇所での破壊は著しい。但しこの耐震壁以外の連層壁には殆どひび割れが発生しておらず、かつ壁脚部の移動も見られなかった。被害原因は、地下部分とのコンクリート打ち継ぎの問題、建物ほぼ中央に位置するエレベーター周りのコア壁によるねじれ振動の問題、壁の過度の負担水平力の問題等が考えられる。取り壊しとのこと。(写真-7~11)

5) 恵宝大樓

竣工後6~7年の地上13階、地下2階の建物で平面形ははり間方向が6.0m×3スパン、それに表通りに約3.2mの片持ちがでている。約50メートル下の支持層まで杭打ちしたとのこと。建物全体の構造部材に大小のせん断ひび割れが発生しているが、そのなかで特に間仕切り用レンガブロックにより短スパンになった中廊下の梁にせん断ひび割れが生じていたことが本建物の被害の特徴である。また道路沿いの建物外周約3.2メートル出ているキャンチねもとのスラブに沿って大きなひび割れが出てその先端が少なからずたわんでいるのは、常時の使用に対しても危険な様子であった。この建物は警察、市の戸籍部、一般のオフィス等が入っており、設計時に想定した荷重状態を一部上回る使い方がされている可能性が大きい。被害程度もかなり大きく、使用停止の方向で専門家の調査が進んでいるとのことである。(写真-12~

15)

6) 監理処

4階建てで、2階以上が住宅、1階が事務所と車検査場となっているため、一階部分がほとんどピロティ形式になっている建物である。はり間方向3スパンであるが、1階真中の通りの腰壁付き柱の数本に中程度のせん断ひび割れが発生していた。(写真-16~17)

7) 桃源国民中学校

丘の傾斜地に沿って、4階建3棟が建っている。約5年前に竣工したということであるが、施工の程度に若干疑問符のつく建物とみうけられた。特に仕上げが雑で、柱、梁の表面がデコボコしていたり、接着タイルが剥離しかけたりしていた。またスラブの下端では軒並みコンクリートのかぶりが不足し、随所で鉄筋が露出し発錆していた。柱、梁の構造部材も、柱で鉄筋位置に沿う垂直ひび割れ、梁で同様な水平ひび割れの生じているのがみられた。(写真-18~19)

8) 中山高中女子校

戦前の建物。これに約14年前に一部建て増しているが、この部分の1階柱がせん断破壊した。また別に、講堂の外壁タイルが剥離した。(写真-20)

9) 実践小学校

もと沼地に東西を軸として建てられたコの字形配置の学校建築である。その南側の5階建の部分が大破した。特に2階短柱のせん断破壊、wall girderの打ち継ぎ部のせん断ズレが著しい被害である。9年前に建設を始め、経済的理由で一時的工事を中断し、約6年前に完成した校舎棟であるが、打ち継ぎ部に問題があったのがこのせん断ズレの原因と考えられる。無論建物自身は支持層まで杭打ちとのことである。他の部分は竣工後10年以上経過しているが被害程度は軽微である。またこの南側の校舎と北側の校舎をつないでいる校舎の1階柱に生じたせん断ひび割れの幅はさほど小さくなく、かつひび割れの方向も一方向であったので、

南北方向の振動は東西に較べて小さく、繰り返しの回数もそれほど多くなかったのではないかと想像される。(写真-21~24)

10) 景美女学校、励学楼

3階建の図-11のように2棟を階段室で繋いだコの字形配置の校舎で1階のほとんどの柱が大破し、かぶりコンクリートが剥落していた。この建物は5月20日の地震で被害を受け、使用停止になっていたもので、今回の地震で直接被害を受けたものではない。しかしコンクリート自身に問題が在りそう(泥分が混じっているような感じ)、被害原因を知るには、コンクリートの被り厚さが部分的にかなり厚い点等、施工の問題も含めて詳細な調査が必要だろう。その他、校舎棟(教学大棟)の短柱に軽微なせん断ひび割れが、階段室周りのレンガに同じくせん断ひび割れがみられた。さらに2階建の講堂・体育館(1階が講堂、2階が体育館)建物の2階体育館部分のレンガ造妻壁のせん断ひび割れなどが目立った被害であった。(写真-25~30)

以上の10棟の被害建物の調査から次のような事が言える。

純ラーメン構造にレンガブロックを使用した構法が台湾では標準的であるが、このレンガブロックによる腰壁、袖壁が柱を短柱に、間仕切りが梁を短スパン梁にして、それらの部材にせん断破壊を引き起こす原因になった例が非常に多い。またレンガ壁自身の著しいせん断破壊も多く見られた。せん断破壊した柱を見ると、そのすべてがフープの間隔が粗く、今後改善の余地があるように思えた。施工的には、打ち継ぎ面の処理、鉄筋の継手方法、コンクリート被り厚さの精度、打ち上がり面の不整形、さらにコンクリートの品質管理、特にコンクリート強度の管理に問題があるように感じられた。

7. むすび

今回の地震そのものは、強震観測記録などをみてもそれほど強烈なものであったとは考えられな

いが、その割には台北市を中心とする建物被害は大きかったのではなかろうかとの印象を持った。特に台北市は盆地状でかつ比較的軟弱地盤上に位置しているにもかかわらず、地盤のボーリング資料が極端に乏しく、地盤の定性的性状をほとんどどうかい知ることが出来ないこと、従って設計用ベースシア係数にその影響が盛り込まれていないことなどが今回の被害を生んだ原因の一つと考えられる。震源に近い地域は、地盤が硬質であって強震記録も300galを越す記録が観測されているようであるが、被害程度は震源から約110km離れた台北市よりはるかに小さいようである。ある新聞では台湾の東海岸で発生する地震は「捨近求遠型」であるといっている。これは震源近くでは被害が少なく、100km以上離れた台北市周辺で大きな被害を起こすことを意味している言葉で大変に的を射た表現をしている。このような（捨

近求遠）の現象は1985年のメキシコ地震の際に見られたのと同様な現象であり、軟弱地盤からなる盆地状地の地震動性状の定量的な解明と、それらの耐震設計への適用が急がれるところである。

最後に、今回の調査にあたり多くの御協力、御支援を頂いた中国工程師学会、台北市政府工務局、内政部營建署、台湾大学工学院地震工程研究中心、台北市政府教育局ならびに多くの関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

文 献 一 覧

- 1) Wu, F. T. 1978, Recent Tectonics of Taiwan, J. phys. Earth. 26, Suppl. S265-S299
- 2) Hsu, M. T. “地震工程” 中国工程師学会出版, 1984年4月
- 3) 台湾大学工学院地震工程研究中心提供

KeyWords (キー・ワード)

Tectonics (テクトニクス), Soft Soil Deposit (軟弱地盤), Basin (盆地), Strong Acceleration Record (地震記録), Earthquake Resistant Design (耐震設計)

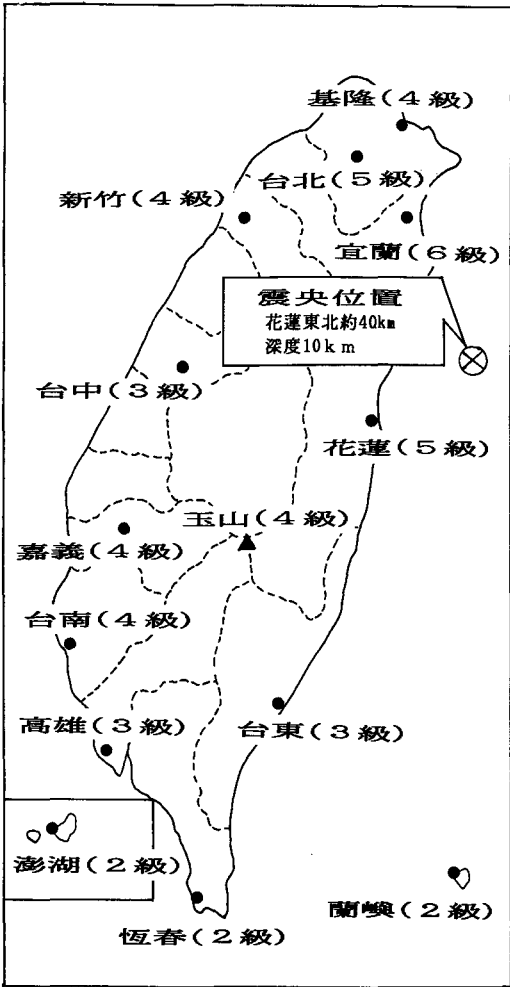


図-1 台湾各地の震度

			XI XII		= 1000
			800	0.7G	
			XI	0.6G	
			x	0.5G	
			X	0.4G	500
				0.3G	400
VI	400	432	400	0.2G	300
	250	250	IX		200
			IX		
			202		
V	V	VIII	VIII		100
			94	0.1G	
	80	80			
			VII	VII	50
IV	IV	44	50		40
			VI	VI	30
			21		20
III	III	V	V	0.01G	10
			10		
	8	8	IV	IV	5
II	II	5	5		4
			III	III	3
	2.5	2.5	2.1	2.1	2
I	I	II	II	0.001G	1
			1.0		
	0.8	0.8	0.8		(GAL)
	0	0	I		
CWB	JMA	MM	M. S. KRATIOTO	ACCELERATION	
I S	I S	I S	I S	GRAVITY	
台湾	日本				

図-2 各種震度階の比較

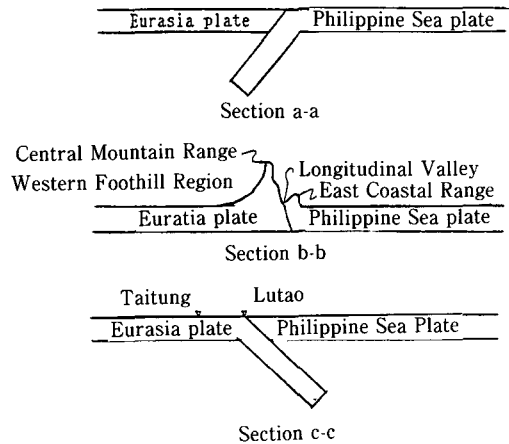
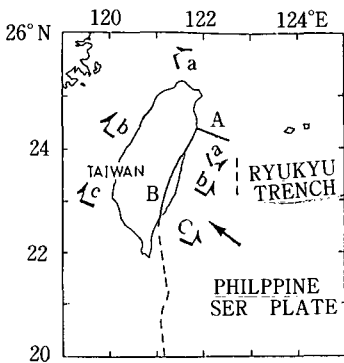


図-3 台湾のテクトニクス模式図

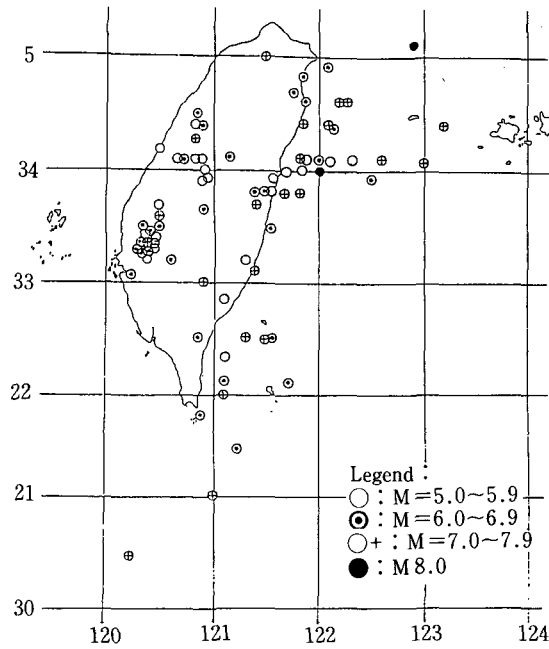


図-4 災害地震分布図 (1897~1979)

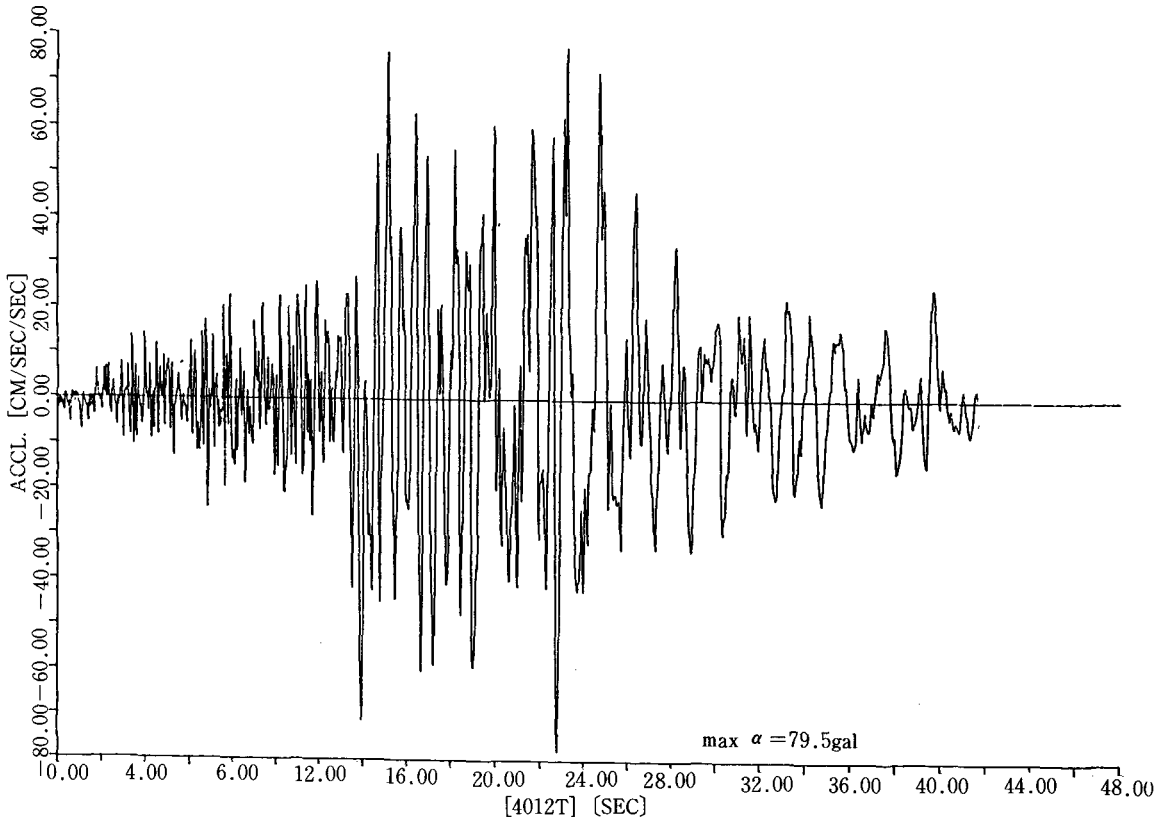


図-5 中正記念堂, 自由地表面の強震記録 (EW方向)

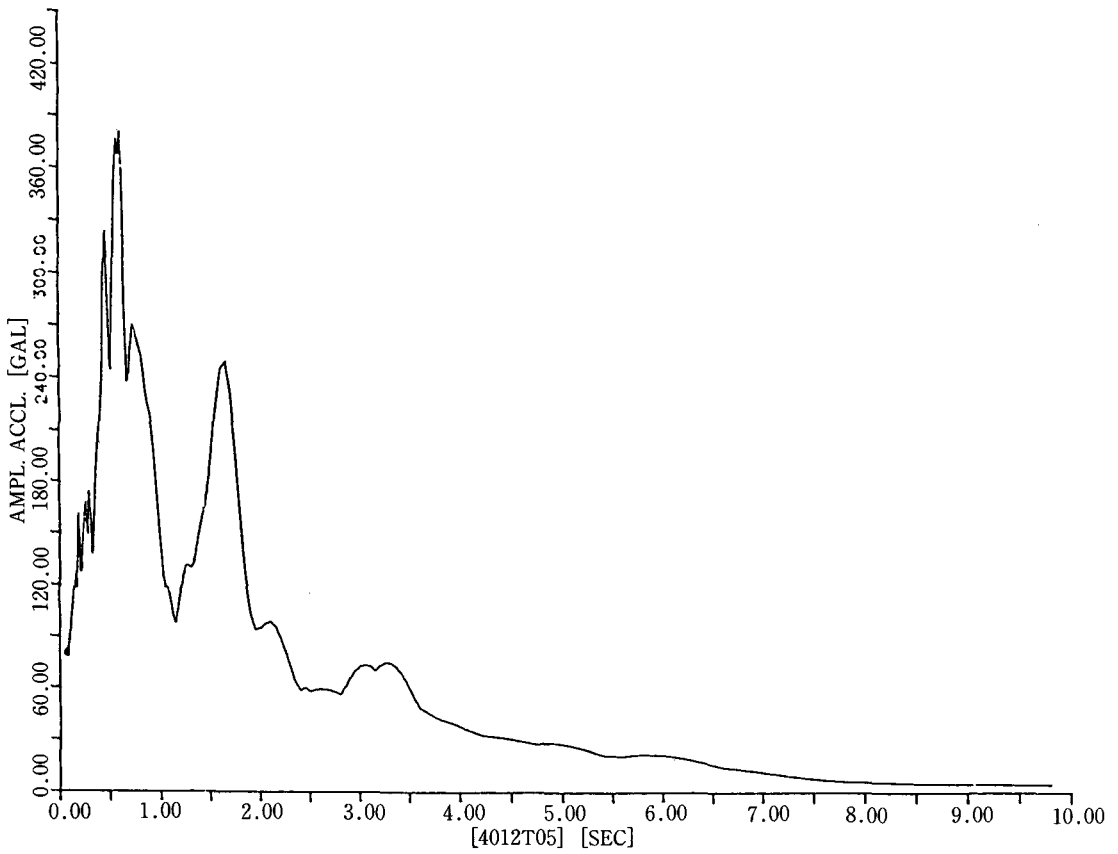


図-6 加速度応答スペクトル (減衰定数5%)

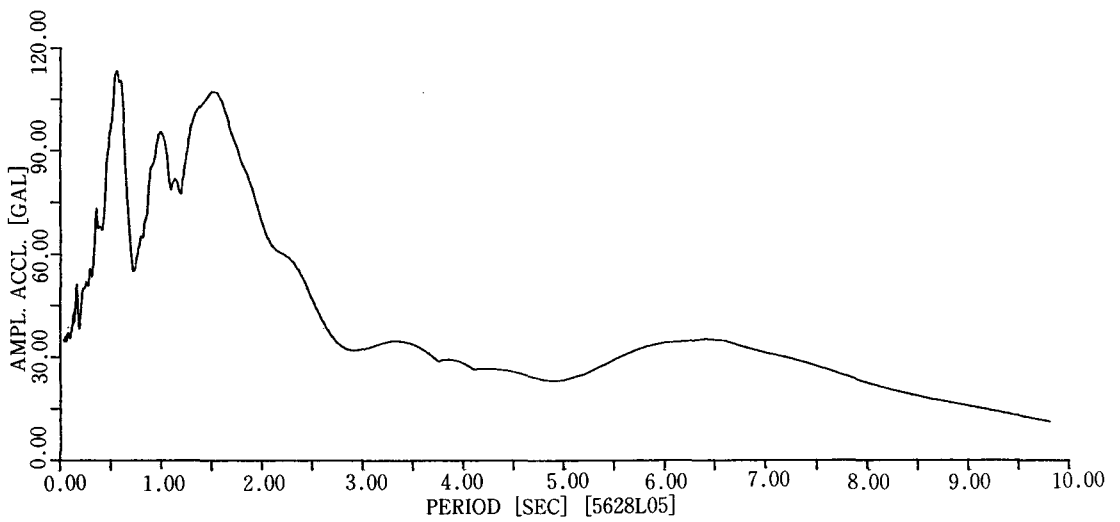


図-7 1986年5月20日の花蓮沖地震 加速度応答スペクトル
(台電大楼, B3階の記録。減衰定数5%)

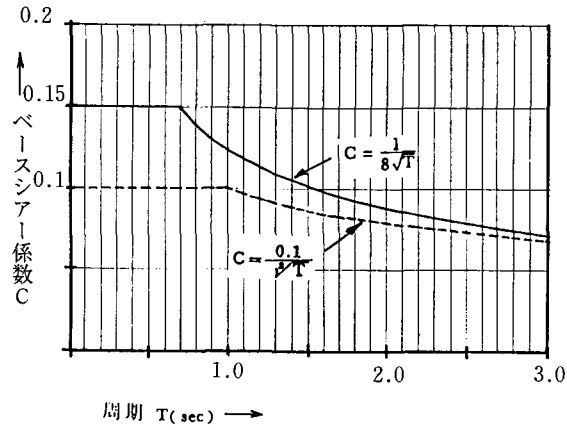


図-8 基準ベースシア係数スペクトルの比較

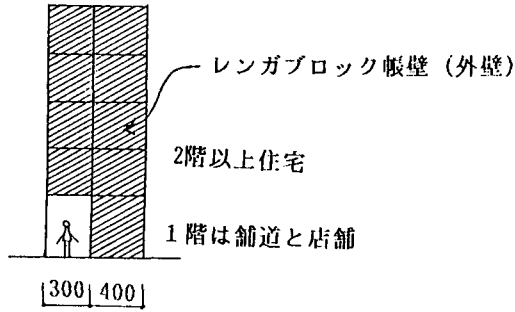


図-9 5階建アパートの断面模式図

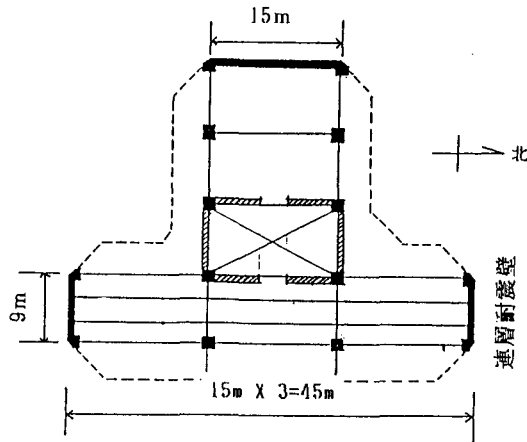


図-10 裕台大楼の平面略図

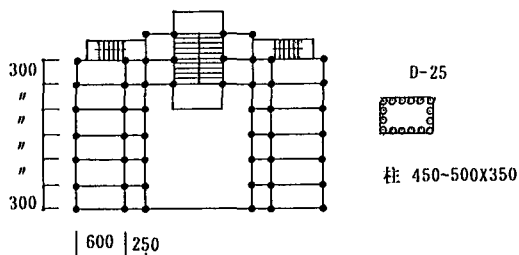


図-11 景美女子，励学楼平面略図

表-1 1900年代の台湾地区の災害地震一覧（死者発生15名以上の場合）

発生日			震央	規模	災害状況			
年	月	日			死者	負傷者	全壊家屋	半壊家屋
1904	11	6	斗六	6.3	145	158	661	3179
1906	3	17	民雄	7.1	1258	2385	6769	14218
1906	4	14	店仔口	6.6	15	84	1794	10037
1916	8	24	南投	6.4	16	159	614	4885
1917	1	5	埔里	5.8	54	85	130	625
1935	4	21	関刀山	7.1	3276	12053	17907	36781
1941	12	17	中埔	7.1	358	733	4520	11086
1946	12	5	新化	6.3	74	482	1954	2084
1951	10	22	花蓮	7.3	68	856	2382(未分類)	
1951	11	25	台東	7.3	17	326	1016	582
1959	8	15	恒春	6.8	17	68	1214	1375
1964	1	18	白河	6.5	106	650	10500	25818

表-2 被害建物約300棟の被害分類（結構技師公会）

被害	階数			
	1-4	5-9	10-15	16以上
建物倒壊	1			
耐震壁破損	1	1	3	
柱・梁重大ひび割れ	8	6	6	1
衝突			6	
傾斜	1	2	1	
非耐力壁破損	1		2	
非構造部材の損傷	約270			

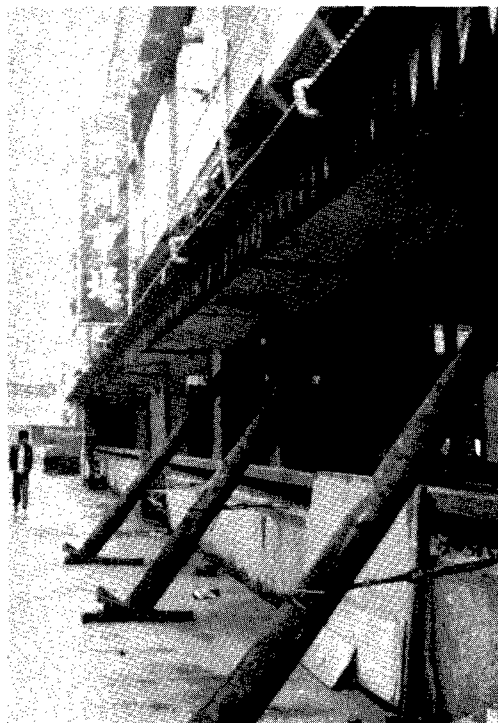


写真-1 丸太材で仮補強

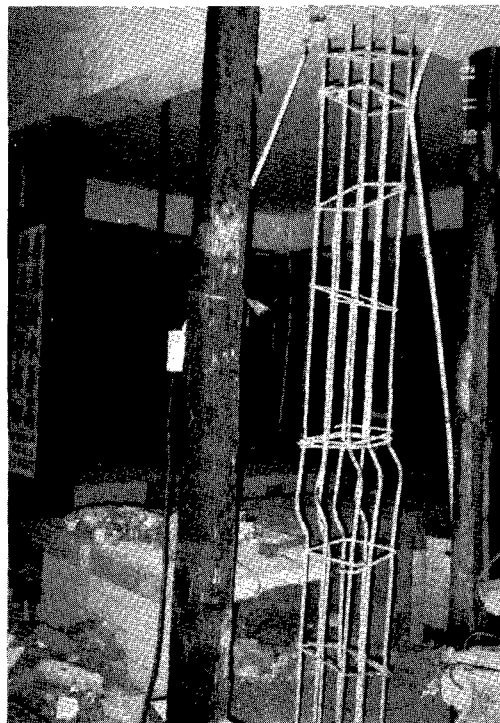


写真-3 せん断破壊した柱。フープ間隔が粗い



写真-2 はつり中のせん断破壊柱



写真-4 けた行き方向レンガ壁のせん断破壊



写真-5 倒壊した華陽市場 (台湾大学 蔡, 邱 教授提供)



写真-8 耐震壁脚部の破壊 (台湾大学 蔡, 邱 教授提供)



写真-6 撤去中の華陽市場 (台湾大学 蔡, 邱 教授提供)



写真-9 耐震壁柱の圧壊の状況



写真-7 破壊した側の外観

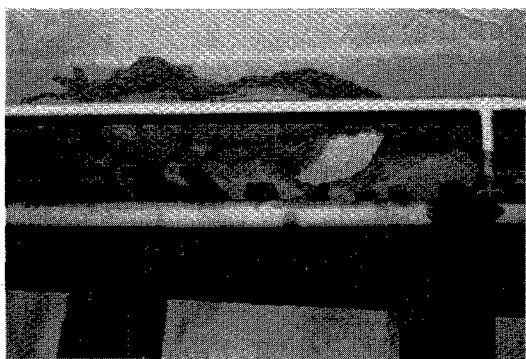


写真-10 1階床スラブの破損。落下しないようにサポートしている。

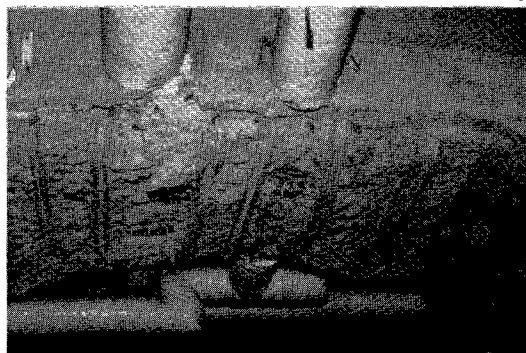


写真-11 破壊した耐震壁に直交する梁の破損

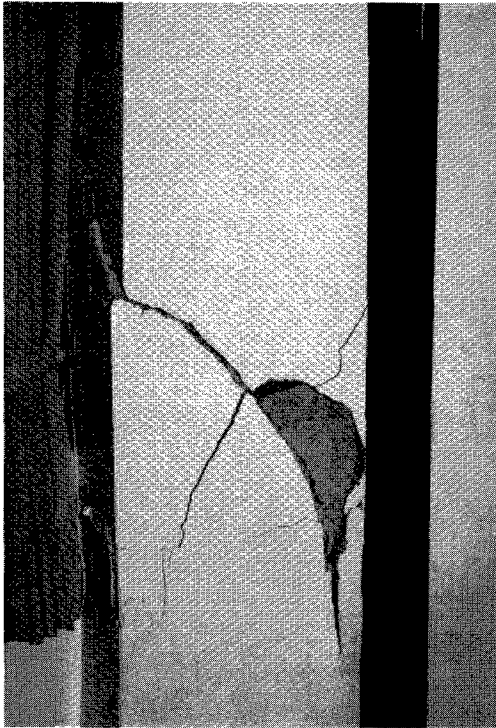


写真-12 柱のせん断破壊

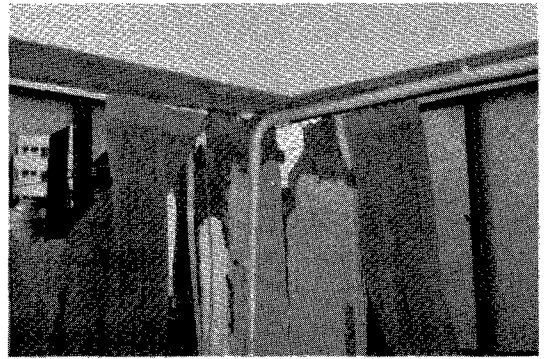


写真-15 キャンチ先端部壁、ガラスの破損



写真-16 向かって左側の柱にせん断ひび割れ。右側の柱に比べるとかなり短柱になっている。



写真-13 梁のせん断ひび割れ

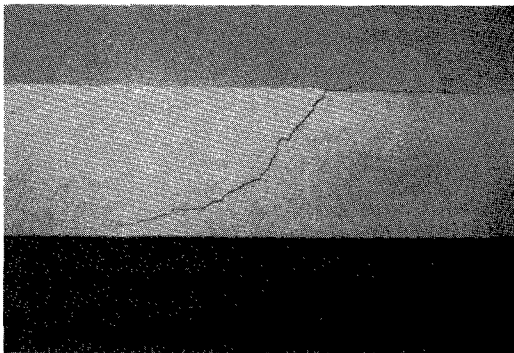


写真-14 梁のせん断ひび割れ

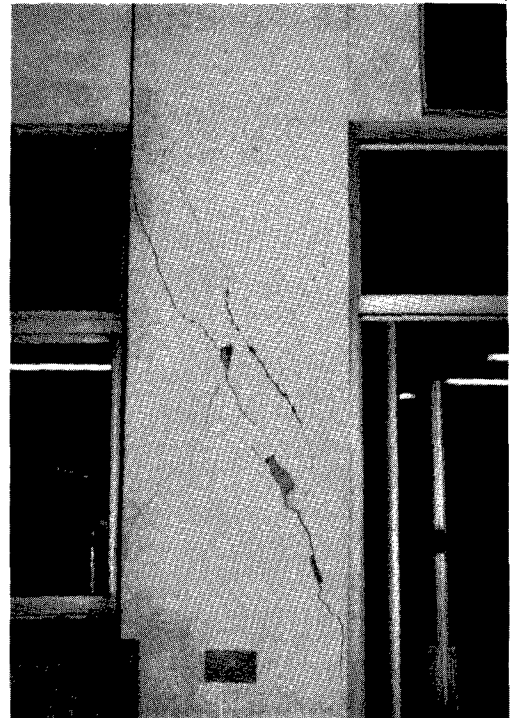


写真-17 せん断ひび割れ柱のクローズアップ



写真-18 柱の割裂破壊

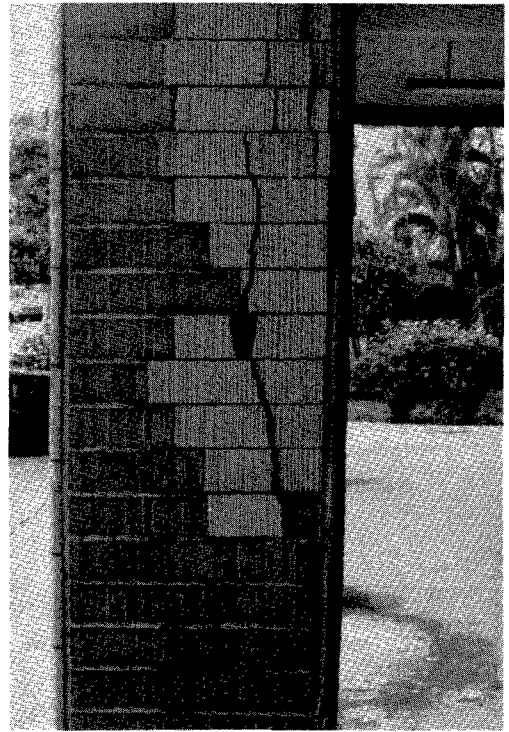


写真-20 柱のせん断。あるいは割裂か。



写真-19 スラブ下端。かぶり不足。

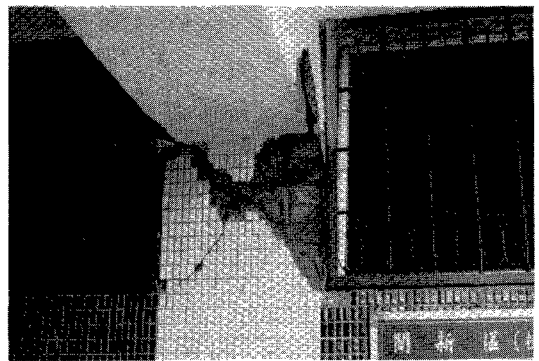


写真-21 短柱のせん断破壊。レンガは柱の化粧。



写真-22 柱のせん断。スラブ打ち継ぎ面のズレが柱を貫通



写真-23 スラブ打ち継ぎ面のせん断ズレ

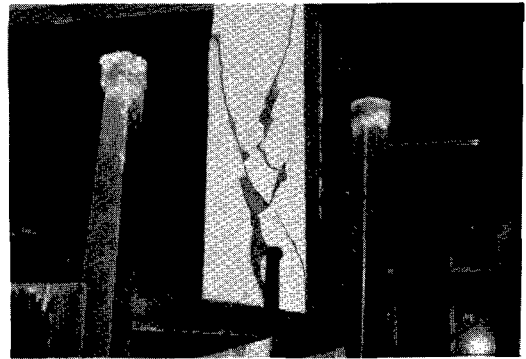


写真-25 柱のせん断ひび割れ



写真-24 柱のせん断ひび割れ。一方向のみのひび割れ

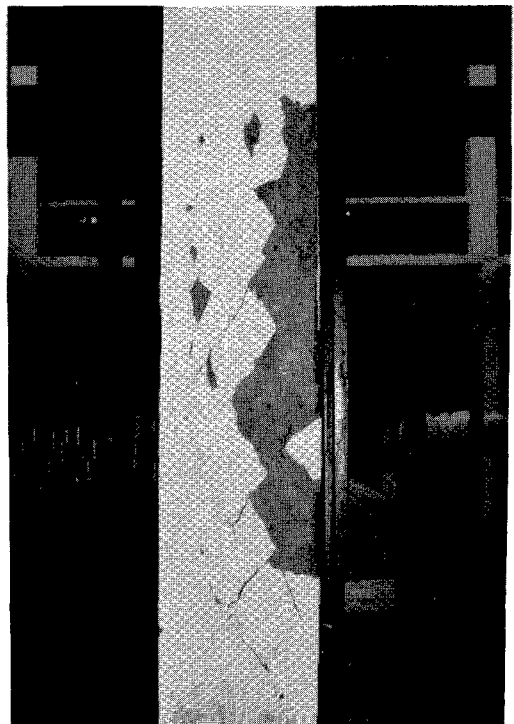


写真-26 柱のせん断ひび割れ

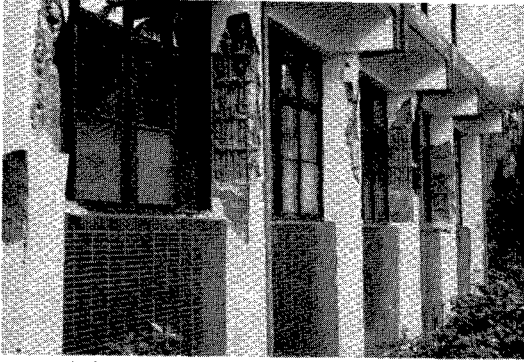


写真27 仕上げコンクリートの剝離した柱



写真-29 2階建講堂，体育館



写真-28 クローズアップ。

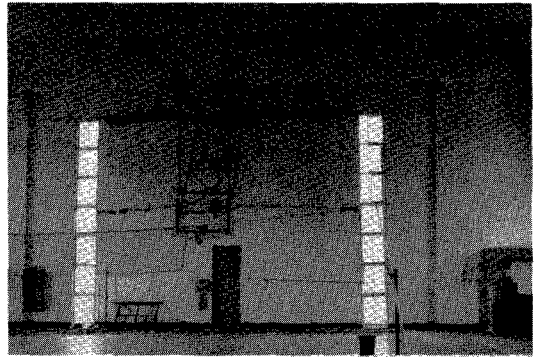


写真-30 2階部分体育館レンガブロック造妻壁の被害