

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

都市多目標使用變電所結構耐震被動控制系統
及
補強施工技術研習

服務機關：台電輸變電工程處

出國人職稱：十等主辦規劃設計員

姓名：鄭恆立

出國地點：日本

出國期間：89.11.12-89.11.25

報告日期：90.1.16

G3/
C08907487

目錄

一. 前言	2
二. 赴日行程簡介	4
三. 結構耐震被動控制系統概述	7
四. 既設建築物耐震補強施工技術	11
五. 結論與建議	18

一．前言

台灣位處環太平洋地震帶上，歐亞板塊與菲律賓海板塊交接衝擊處，常年地震不斷。1999年9月21日發生規模7.3級的集集大地震，造成兩仟多人喪生，一萬多人受傷，公共建築設施及民宅嚴重破壞，房屋全倒超過萬戶，而連絡道路及橋樑之損毀更造成搶救上的困難，直接對國家經濟建設與社會秩序造成相當大的衝擊。震災一年後，重建工作仍舉步維艱，其影響之鉅可見一斑。

近年來結構防震技術急速發展，隨著合成橡膠、材料合成、粘結技術等的進步，各式各樣耐震、減震、免震裝置相繼發展出來，結構控制的觀念也被利用至土木結構上。結構耐震被動控制觀念即揚棄了傳統耐震設計之概念，於結構系統中適當的配置消能控制元件，消散外力輸入結構之能量，讓結構在強大地震力下，能大幅降低結構的變位，在可容忍的範圍之內，以確保人員與結構之安全。

而結構補強施工技術乃針對既設建築物於（震後）損害復舊或為提高其抗震能力所發展出之方法。可降低災害復原

之工期及經費，恢復建築物原有之使用能力，提高其安全性。為防止結構物在地震時受到嚴重的破壞，應提高既設及新建築物之耐震性。日本於 1995 年阪神大地震，造成超過 2000 億美元以上的生命財產損失。受此嚴苛教訓，各種結構耐震、免震、減震工法及結構補強施工，技術突飛猛進，值得同為地震頻繁之我國借鏡。

二、赴日行程簡介：

期間：89年11月12日至89年11月25日

A 研習主要對象：

1. 三幸機械株式會社：

土木用金屬製膨脹螺栓、鑽孔用鑽管、鑽桿等工具製造廠家。另工事部門從事結構補強工程、年營業額在450億日圓以上。

2. 旭化成工業株式會社(化藥事業部)：

旭化成為世界著名化工大廠、化藥事業部研發製造補強用相關粘結材及超高速鑽孔工具，非破壞檢驗儀器。

3. KFC 株式會社：

結構補強工程及相關材料製造販賣、施工專業廠家，年營業額在400億日圓以上。

4. AS 株式會社：

振動、噪音測定分析、防震、減震隔震裝置設計、製造、施工專業廠家。

5. 東京理科學大學松崎高育弘教授：

日本知名建築構造學者，為相關法規制定委員，專長為混凝土構造演變開發及日本碳纖維補強 “連續纖維設計指針規範” 制定召集委員。

6. KR 建築研究所服部範二建築師：

日本建築師學會分會長，為結構補強專家。去年 921 大地震後曾應建築師公會及台北市結構技師公會之邀到台灣考察交流。其並負責橫濱市公共建築物耐震診斷調查。

B. 參觀工程紀要

結構耐震被動控制系統：

1. Riken Forge 公司(日野汽車衛星工廠)：

8^T動力錘成型機，應用 24 組 “GERB” 公司彈簧阻尼器，成功的降低了重錘造成的振動及噪音。

2. 原田機械公司(本田汽車衛星工廠)，1600^T壓模機利用 4 組 AS 公司之大型彈簧阻尼系統，降低了 2 樓辦公室及週邊環境之振動及噪音。

3. 日本國土開發株式會社之 3 層隔震樓房及振動台隔震設備，利用鉛心橡皮墊及粘性阻尼器組成隔震架構，有效降低地震之影響與現場另一相同型式 3 層樓房比較，基底最大加速度降低為原有之 1/70。另 200 噸 3 自由度振動台，可模擬最大達 1g 之地震加速度，成功的利用氣壓式彈簧及阻尼器，達到隔震的目標。

結構補強工程：

1. 東上野幼稚園及老人活動中心改修工程：

為符合現行耐震法規，現場 4 層樓房增設剪力牆及剪力框架，總工程費 2 億 1 仟萬元整，總工期 5 個半月。

2. 花茶屋圖書館：

增設剪力框架，解決現有結構系統，結構剛心不對稱之問題。

3. 稻田小學校舍改造及耐震補強工程：

學校為天然災害發生時之最重要避難場所，必須符合日本現行耐震法規，考量現有結構系統增設水平向剪力框架及部份 R.C 剪力牆。

三、結構耐震被動控制系統概述

地震發生時，地震所輸進結構之能量將為結構所吸收及消散。為降低大地震中建築物發生損害所造成的損失，傳統的做法通常是增加建築物的強度，使能抵抗地震時建築物產生之地震力；或將建築物的強度設計的不是很高，但具有良好的韌性，使其能消散地震時加諸於建築物上的能量。即中小型地震不造成主結構損害，強大地震力作用下，結構體不倒塌的耐震性能目標。

然而韌性的發揮主賴於結構之材料能產生大量非彈性變形，結構物要具有良好韌性，必需要有良好的韌性設計，施工時也需小心確實，也增加了整體結構物成本。而大地震引起之加速度甚大，容易引起居民恐慌及設備受損，且結構體破壞處須作適當的修補，這些都是傳統耐震設計上的缺失。

近年來，新的結構抗震設計概念正逐漸形成。包括結構主動控制系統（active control system）及被動控制系統（passive control system）。結構主動控制系統乃從結構系

統外提供能量，藉以提高結構之等效阻尼與等效勁度，使結構體在強度與勁度得以滿足，可確保其安全性與可用性。而此次研習的被動控制系統，依其特性可分為“隔震被動控制系統”（base isolation system）及“消能被動控制系統”（energy dissipation system）。

（一）、隔震被動控制系統：

隔震被動控制系統係以柔性的隔震器來隔絕地震之傳輸路徑而降低結構承受之地震力，使其在強震中得以安然無恙。若依其原理之不同，大致可再分為兩類：

- （1）延長結構周期。
- （2）截斷地震力之傳遞路徑。

常用的種類有鉛心橡皮墊（LRB）、高阻尼橡膠支承墊（HDRB），滑動支承及粘彈性阻尼器等。

建物採用隔震被動控制系統可達如下的效果：

- （1）地震時建築本體產生的加速度僅有依傳統耐震設計方法設計者之 $1/3 \sim 1/10$ ，可有效降低家具傾倒、設備、

配管損害。居住者安全性可有效提升。

(2) 若採功能性設計，建築物梁、柱等斷面可減小，增加有效的使用空間。

(3) 地震時建築物各層層間變位可有效降低，各樓屋內外裝修及水電瓦斯配管損害之可能性減少，可避免二次災害之發生。然隔震被動控制系統，對於振動週期較長之高層建築或位於軟弱地盤上之建築物，應用上仍有其使用限制，其成效較不顯著，可考慮採用其他方式。

(二)、消能被動控制系統：

消能被動控制系統主要在提供結構體附加之阻尼，以消散結構體因地震或風力所產生之能量；其亦可提昇結構體之勁度，隨著受力過程自動調整結構體自然頻率，以避開地震能量集中之頻率範圍。當結構體在風力或地震力作用下，消能元件之應力應變關係形成遲滯迴圈。

遲滯迴圈可視為材料線性與非線性行為之疊加，線性部

份提供勁度，以提高結構之自然振動頻率；而非線性部份則提供阻尼，消散結構之振動能量。常用之消能被動控制系統有：粘彈性阻尼器、液態粘滯性阻尼、加勁阻尼板 (ADAS)、三角加勁阻尼器 (TADAS) 及強化式加勁阻尼板 (RADAS) 等。

消能被動控制系統，可將建築物及因外在地震力或風力所引起之加速度及變形量降低為原有可能之 30%~50%，更可使建築物內部之家具，機器配管的破壞降低，建築物因強震破壞修補，補強的機會降低，尤其對於風力及小型地震的抑制效果更明顯。

四、既設建築物耐震補強施工技術

日本阪神大地震造成 6000 餘名民眾死亡，房屋全倒約 10 萬棟，據統計有近 8 成的民眾都是直接或間接因建築物倒塌所導致，由此可見建築物耐震安全性之重要。影響既設建築物耐震性最大的因素為建築設計所採用之耐震法規；日本自 1971 年大幅修正鋼筋混凝土構造設計基準，提高 R.C 構材之韌性；1981 年採用新耐震設計方法，考慮了建築物本體的動態特性；1995 年阪神大地震發生後，再積極改進耐震法規，於 1998 年再度修改建築基準法，採性能規定化，依不同的設計方法有不同的認定驗證方法。由阪神大地震建築物實際被害狀況分析，隨著建築物設計規範的更新，建築物損傷的程度也隨之降低。

除了建築物的設計法規外，影響建築物耐震安全性的因素尚有施工的優劣性及建築物的使用狀況，環境條件等，然而即使上述條件皆相同，建築物劣化的程度也可能不一樣，更何況耐震安全性之差異，由此可見耐震診斷之重要性。

(一)、耐震診斷：既設建築物的耐震性能與其建造年代使用

狀況等有極大的差異性，耐震性能有事先診斷之必要，依其程序可分為：

(1) 預備調查：目的在取得建築物本身之基礎資料包括建築完工時間，設計之耐震法規，設計圖面地質調查及結構計算書等，配合現場目視檢查，擬定耐震診斷基本方針。

(2) 建築物現地調查：為能夠確切掌握建築物之現況，明瞭建築材料強度之變化，主要調查項目如下：

1. 建築物外觀調查：混凝土表面裂痕鋼筋銹斑，鹼性骨材反應，及其他病變；建築物是否有傾斜沈落或不均勻沈陷等現象；其他附屬設施之劣化狀況等。
2. 建築物現況與設計圖面比對；檢討建築物跨度梁柱斷面，版厚，牆厚等及建築物實際載重條件是否與原設計相符，以為後續補強設計參考。
3. 鋼筋混凝土構造：混凝土鑽心試體抗壓強度，中性化深度檢測及鋼筋銹蝕範圍檢測等。
4. 鋼骨構造：梁柱接合部、各處焊接品質及與設計圖面之比對；柱腳支承板及錨栓之尺寸是否相符。

(3)耐震診斷之判定：

預備調查及現地調查完成後，即可依據現行的耐震法規進行評估，找出耐震性能問題所在，檢討補強的對策與方針。

a · 日本建築防災協會：「改訂版既存鋼筋混凝土造建築物之耐震診基準及解說」。

b · 建設省：「耐震改修促進法」或「告示診斷指針」。

(4)耐震性能指標：

建築物之耐震安全之評價指標，耐震指標

$$I_s = E_o \times S_o \times T$$

E_o ：保有性能指標，與建築物結構強度，破壞型式及韌性能力有關。

S_o ：形狀指標，與建築物平面形狀及立面剛性之完整有關。

T ：經年指標，建築物結構體經年使用，而龜裂、變形劣化等現象，使其耐震性能降低。

依結構特性分類， I_s 診斷方式共有三階段，第一次、第二次、第三次診斷法，次數愈高檢討項目愈詳細，可信度也愈高，當然時間也更長。

(5)耐震性能之判定

耐震性能指標確定後，須加以制定，以 I_{so} 為構造耐震判定指標。

$$I_s \geq I_{so}$$

$$I_{so} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U$$

$$1.25 \geq G \cdot S_o \geq 0.3$$

E_s ：耐震判定基本指標 第一次 $E_s = 0.8$

第二次，第三次診斷 $E_s = 0.6$

Z ：地域指標

G ：地盤指標，依地盤特性及結構互制等因素修正。

U ：用途指標

C_T ：累積強度指標

由多次的地震災害來分析，建築物耐震性能指標若超過判定指標 I_{so} 值時，於地震時傾倒破壞的可能性明顯降低許多，耐震安全性能是可肯定的。

(二)、耐震補強計劃：

耐震診斷後建築物耐震性能不佳者有實施耐震補強的必要，由於須兼顧建築物的使用性、機能性及美觀等，有許多的場合無法採取最佳的耐震補強方法，且往往需要更多的費

用；故完整的耐震補強計劃，須要建築物所有者、設計者及施工廠家來共同協商，就補強方法、效果及補強經費上綜合評估，擬定較可行補強計劃。

而實施耐震補強的建築物，其耐震性能改善值的制定，依據日本建築防災協會「Rc 診斷基準」。

$${}_R\mathbf{I}_S \geq \alpha \cdot \mathbf{I}_{S0} \quad {}_R\mathbf{C}_T \geq 0.3$$

${}_R\mathbf{I}_S$ ：補強後建築物耐震指標值

${}_R\mathbf{C}_T$ ：補強後建築物之保有耐力

α ：1.0~1.2

由於耐震診斷及補強施工等皆有其數質理想化及施工精準度等因素互相影響，除了標準的診斷過程及施工程序外更須有經驗的專業診斷業者及專業施工廠家的配合，方能保障建築物於下次大地震來臨時的安全性。

(三)、耐震補強方法

依照結構基本理論，提高建築物耐震性能的方法有

1. 提高建築物勁度(強度)。
2. 提高建築物韌性。
3. 同時提高建築物之勁度與韌性。

4. 應用結構消能系統。

補強工法的運用應加以考慮各工法之適用性與否，如補強位置是否影響建築物的使用機能等，是否須作適當的調整等；且補強工程進行中，建築物是否仍可以繼續使用；施工期間、噪音，振動粉塵是否對周遭環境造成影響；另須考慮整個補強工程的經濟性，包括直接工程經費及家具等搬遷所產生之費用。由於補強費用、使用機能及補強效果三者的關係是互動的，如何取得平衡點，實有賴業主，耐震診斷設計業者和專業施工廠家三方面之互相支援配合。

(四)、耐震補強施工技術：

(1) 提高建築物勁度(強度向上型)：增加建築物抵抗地震力的元素，如

- a. 增設 R.C.剪力牆使其成一體，以抵抗地震力。然增設 R.C. 剪力牆常使得建築物內外部動線，採光等受影響，且其重量甚大，軸力增加，基礎構造等須加以校核。
- b. 增設鋼構架：以鋼構架的輕量化及其韌性替代 R.C.剪力牆，大大降低了前項之缺點，然其施工精確度甚高。

c. 增設翼牆：使其與柱一體化，一般應用於大跨度柱加勁用，但梁端受力變大，需加校核。

(2) 提高建築物韌性(韌性向上型)。主要在提高柱之韌性，凡能增加柱體圍束效果之方法。

- a. 溶接金屬網
- b. 鋼板包覆
- c. 帶狀鋼板包覆
- d. 碳纖維網包覆

(3) 其他補強工法：綜合上述各項工法或以免震制震用之消能元件降低或免除地震之危害。

五、結論與建議

1. 採用結構耐震被動控制系統可有效降低建築物於地震時之反應，保障大眾生命財產安全。
2. 大型振動機具應用結構耐震被動控制系統可抑制其振動及噪音。如公司大型變壓器基礎採用耐震被動控制系統可有效降低其低頻振動及噪音。
3. 位於斷層帶附近之公共建築物可採用結構耐震被動控制系統以保障安全。
4. 既設公共建築物應實施耐震性能評估必要時應予補強。變電所為民生重要設施，建議設立專案評估小組進行既設變電所耐震性能評估，以維供電安全。
5. 應加速結構耐震被動控制系統、耐震診斷及耐震補強相關法規的制定；尤其是針對重要民生公有建築，應盡速進行耐震性能評估，必要時需加以補強。
6. 日本於阪神大地震後，結構耐震控制系統及補強工程等技術突飛猛進，值得我們借鏡。

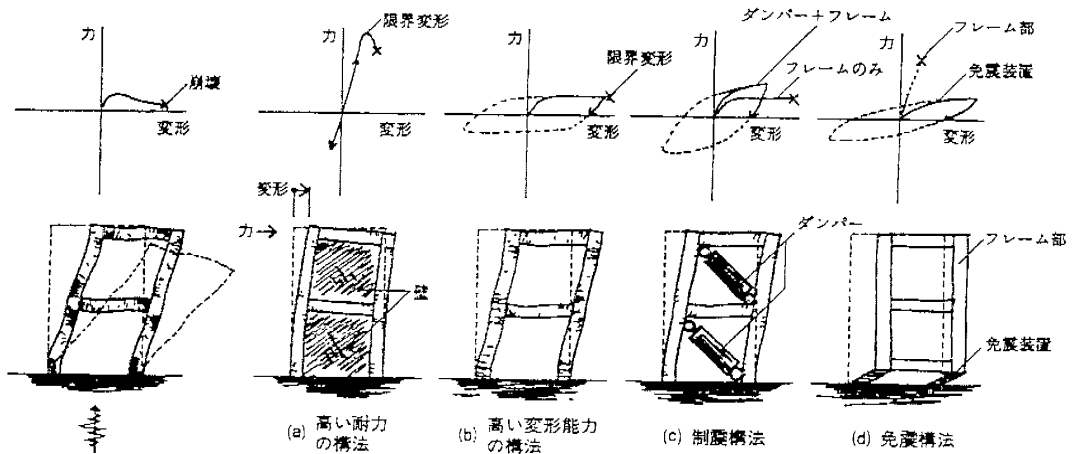
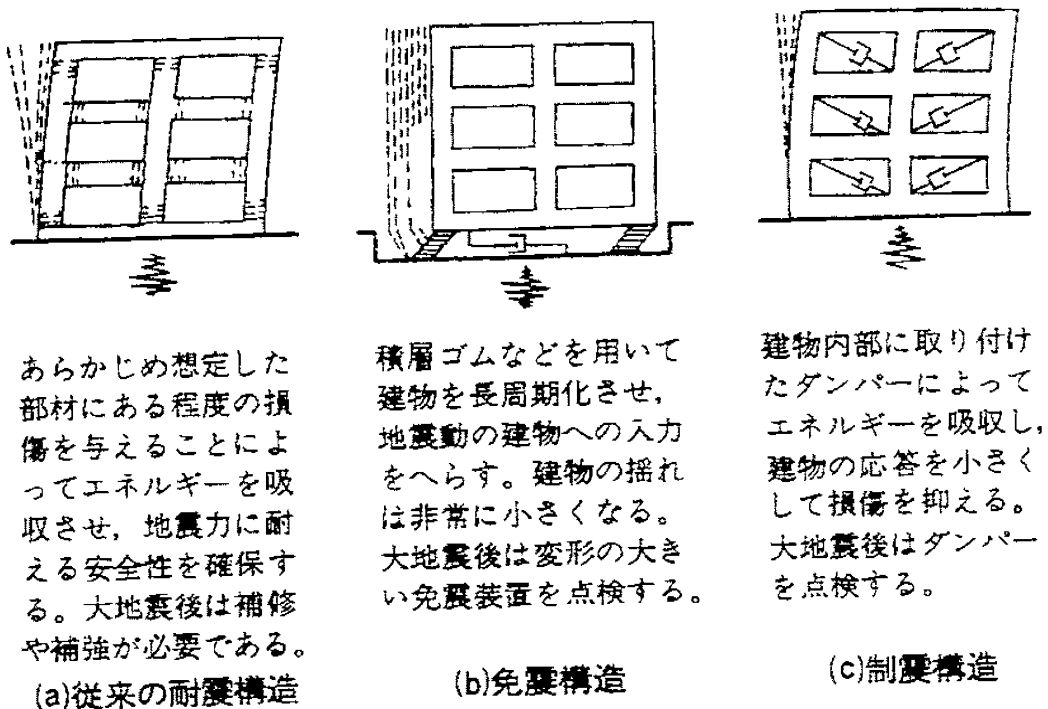


図 1-3-3 建物の地震に対する各種構法の概念

表 1-3-1 建築に関する耐震規定の歴史(抜粋)

年	法令	内容	地震
1920(T9)	市街地建築物法	構造詳細規定。常時荷重に対する許容応力度規定	
1923(T12)			関東地震
1924(T13)	市街地建築物法(改正)	設計震度 0.1 以上(初めての耐震規定)	
1948(S23)			福井地震
1950(S25)	建築基準法	設計震度 0.2 以上	
1963(S38)	建築基準法(改正)	建物の高さ制限撤廃	
1965(S40)		(日本建築センター設立)	
1968(S43)			十勝沖地震
1971(S46)	建築基準法施行令(改正)	鉄筋コンクリート造せん断補強強化	
1978(S53)			宮城県沖地震
1981(S56)	建築基準法施行令(改正)	2段階設計(1次・2次設計)。動的効果, 保有耐力を考慮	
1995(H7)	耐震改修促進法	耐震改修の促進	兵庫県南部地震
1998(H10)	建築基準法(改正)	性能規定化	



あらかじめ想定した部材にある程度の損傷を与えることによってエネルギーを吸収させ、地震力に耐える安全性を確保する。大地震後は補修や補強が必要である。

積層ゴムなどを用いて建物を長周期化させ、地震動の建物への入力をへらす。建物の揺れは非常に小さくなる。大地震後は変形の大きい免震装置を点検する。

建物内部に取り付けたダンパーによってエネルギーを吸収し、建物の応答を小さくして損傷を抑える。大地震後はダンパーを点検する。

図 3-1-1 耐震・免震・制震構造

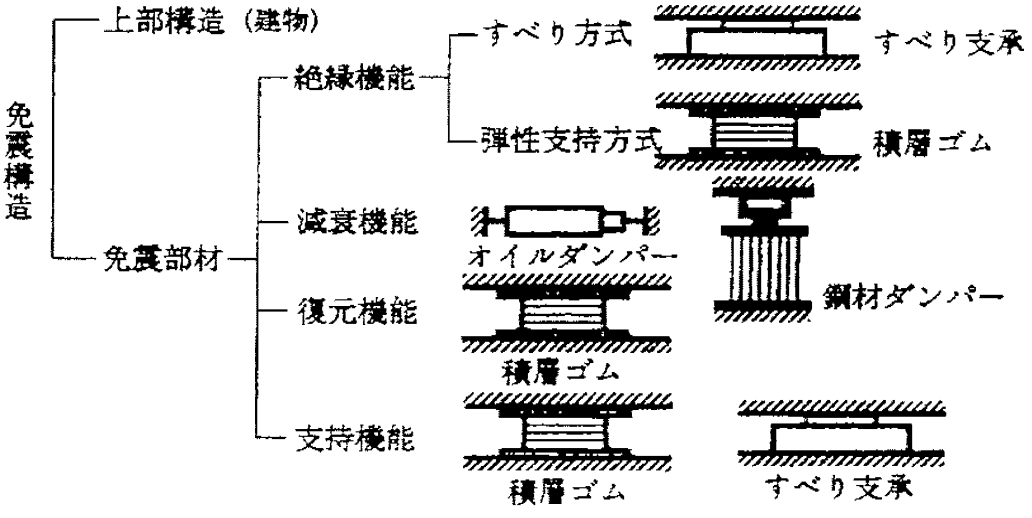


図 2-1-10 免震構造の機能

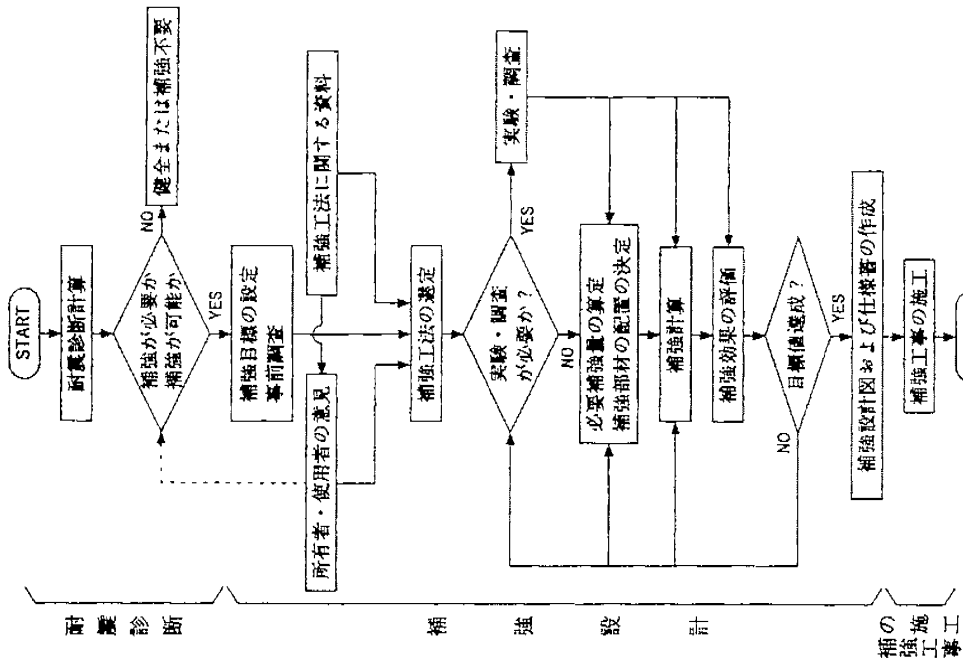


図 4-3-1 耐震補強のフローチャート*

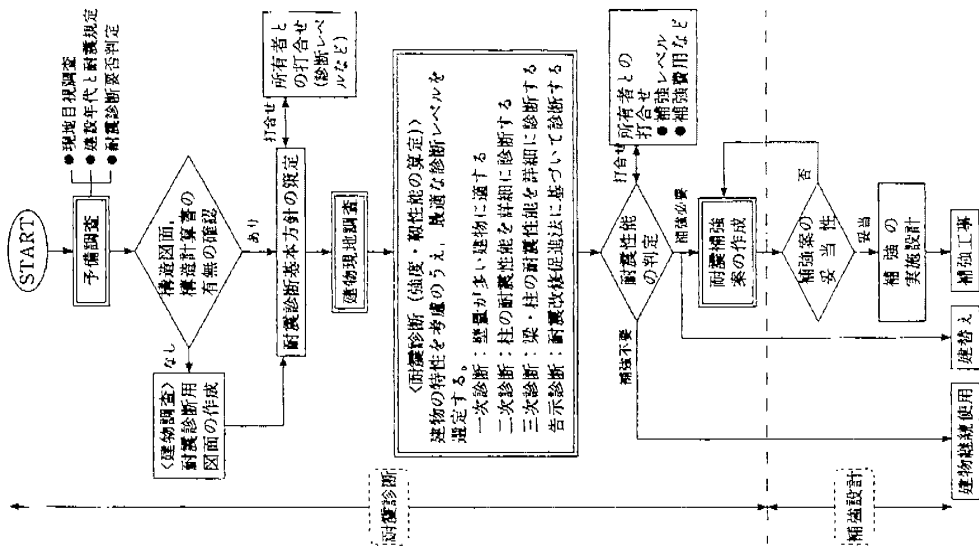


図 4-2-1 耐震診断および耐震補強のフロー

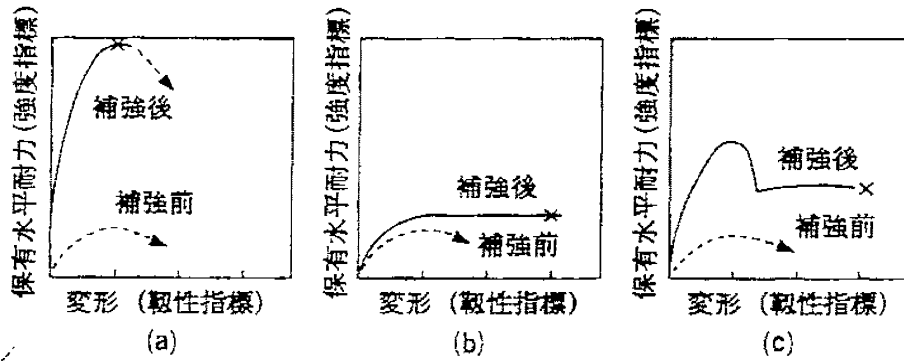
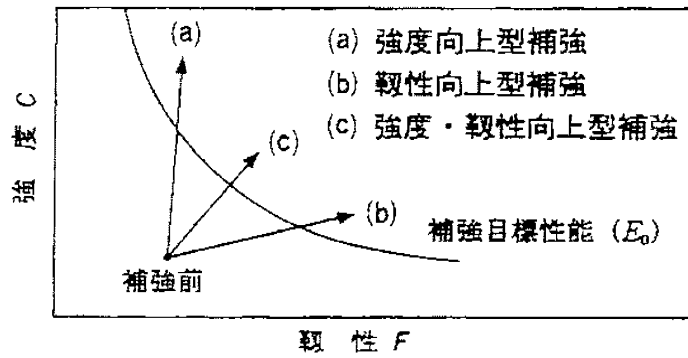
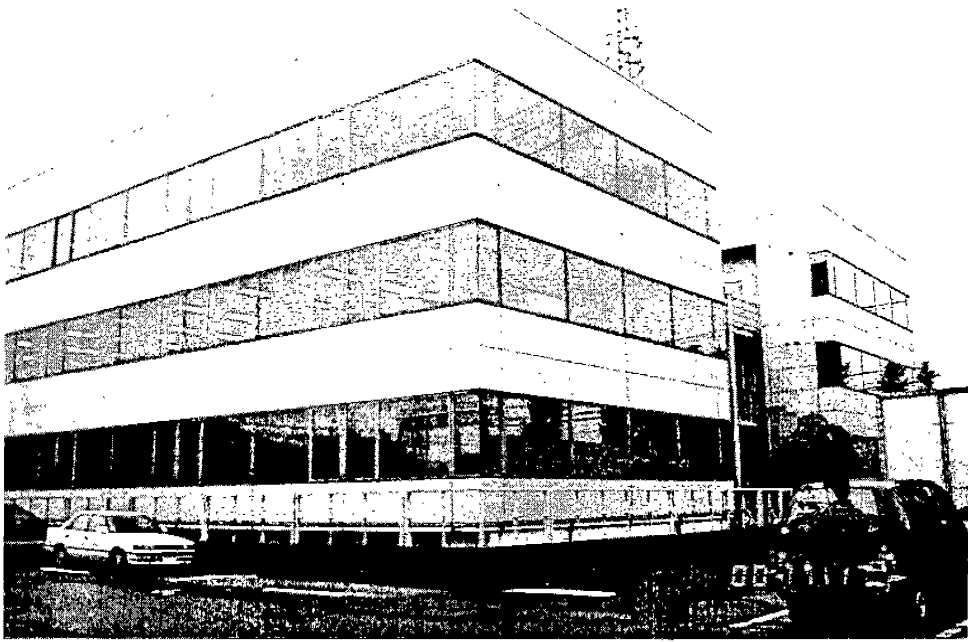
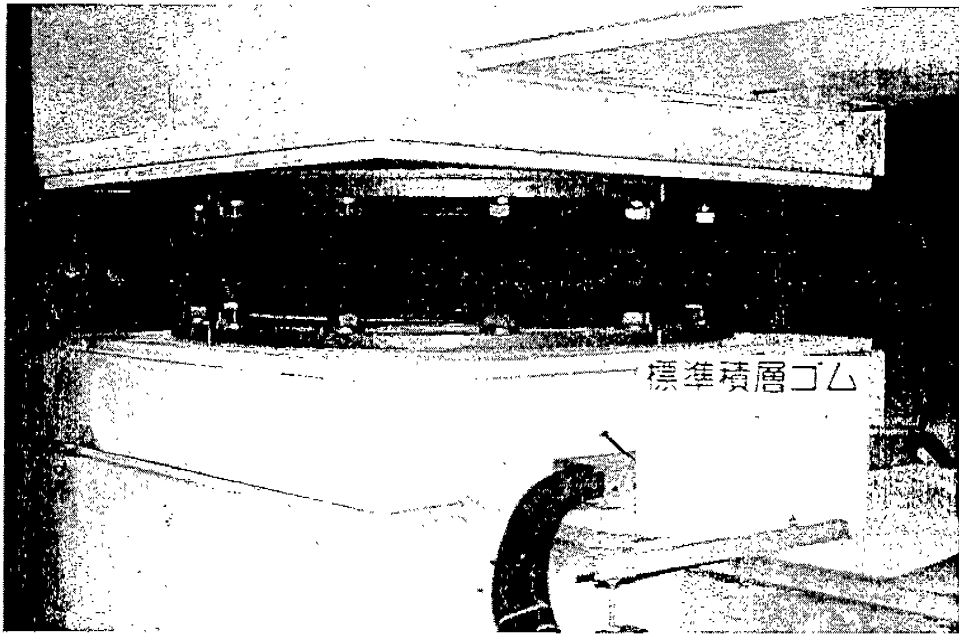


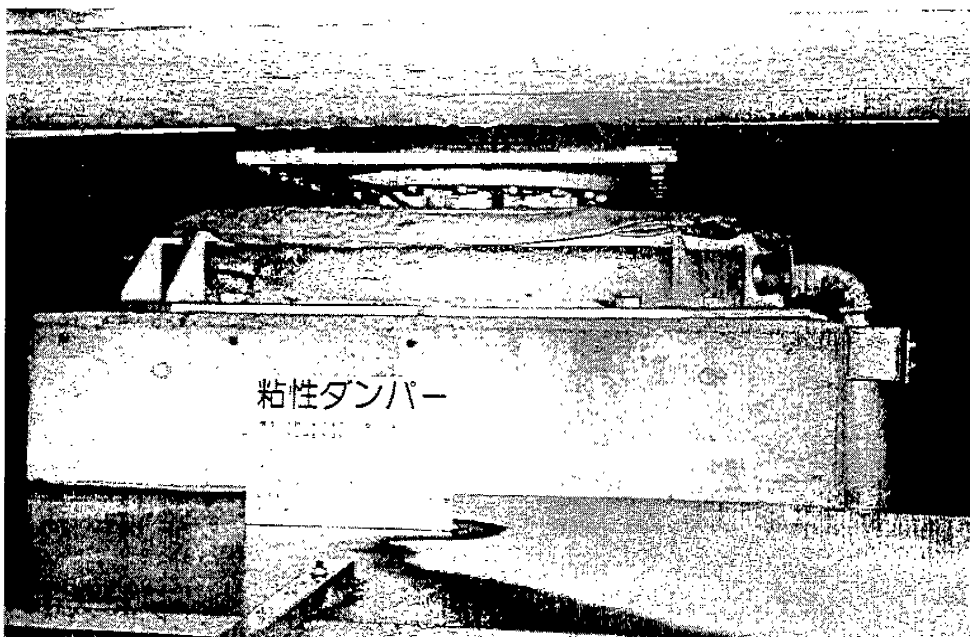
図 4-3-2 耐震補強の基本方針(* 2 に加筆)



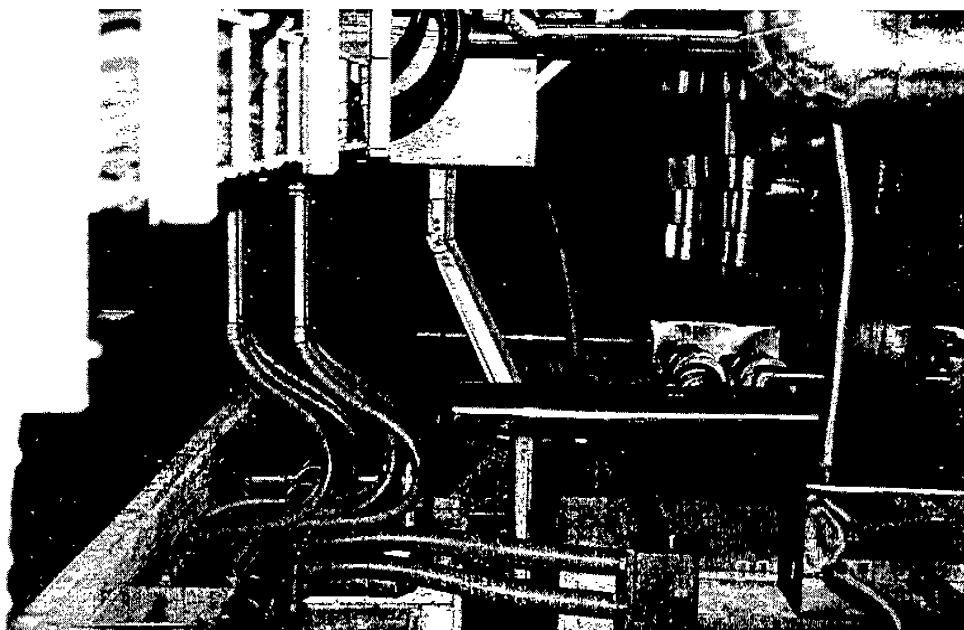
日本國土開發株式會社 3層隔震樓房



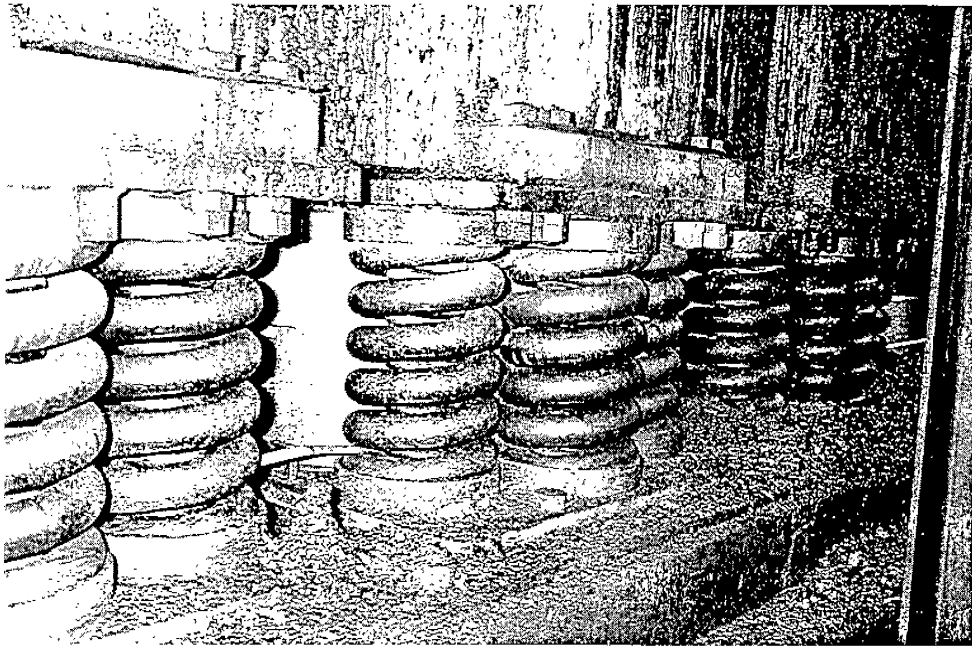
隔震樓房鉛心橡皮墊



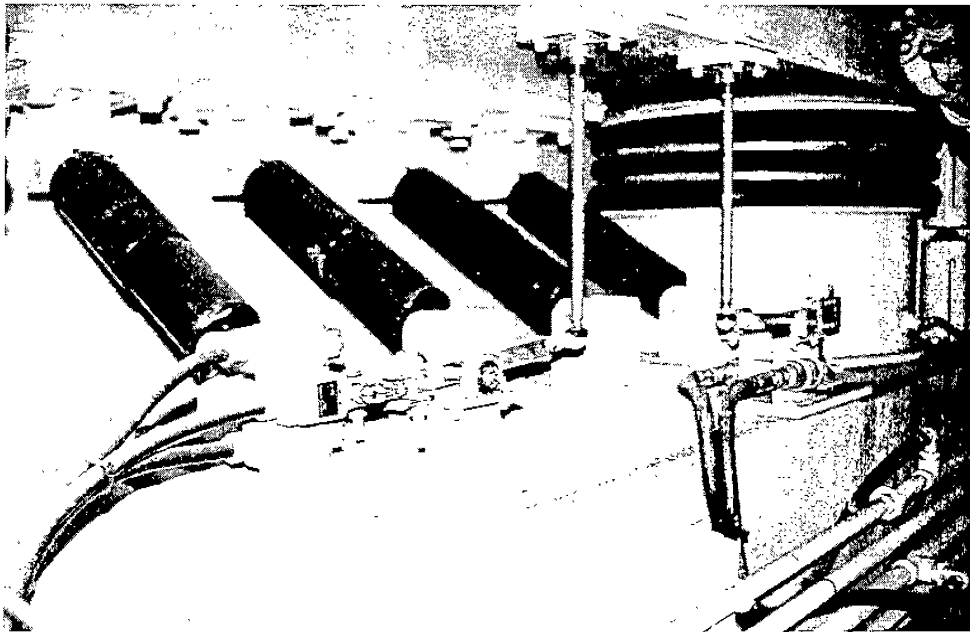
隔震樓房粘性阻尼器



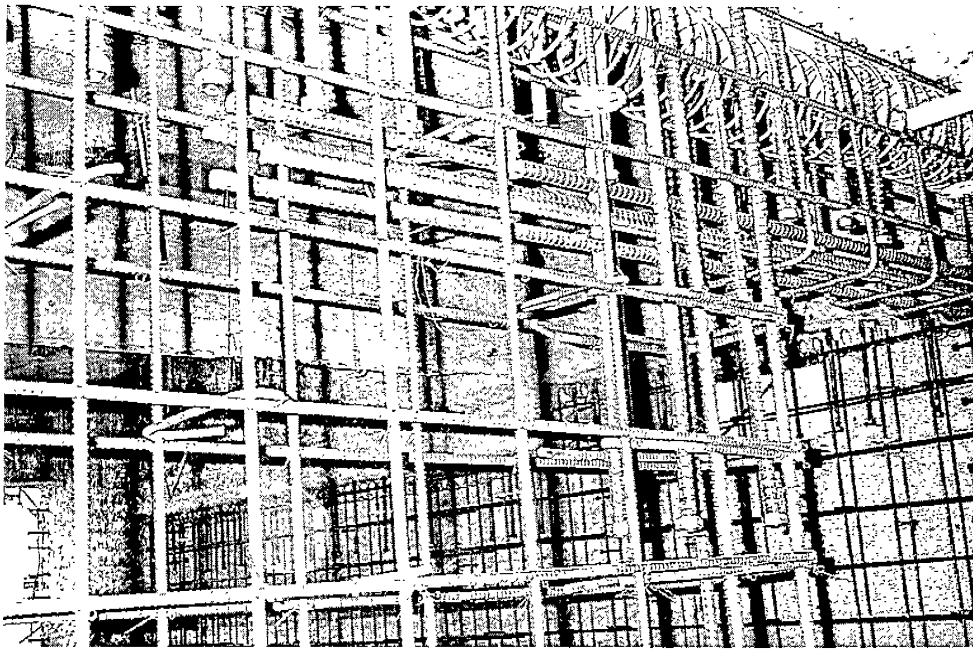
隔震樓房水電配管



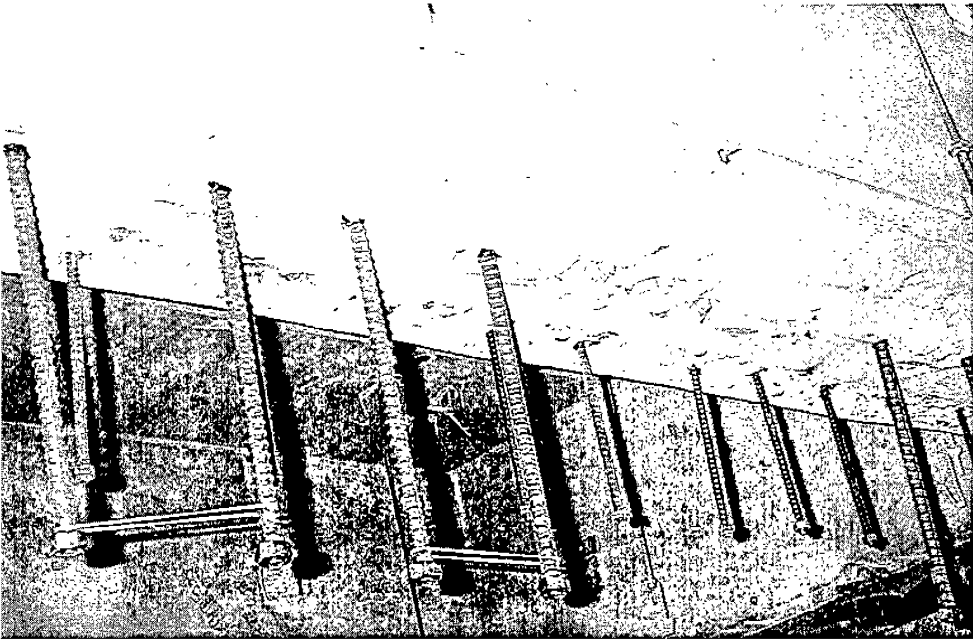
結構耐震被動控制系統(彈簧阻尼器)



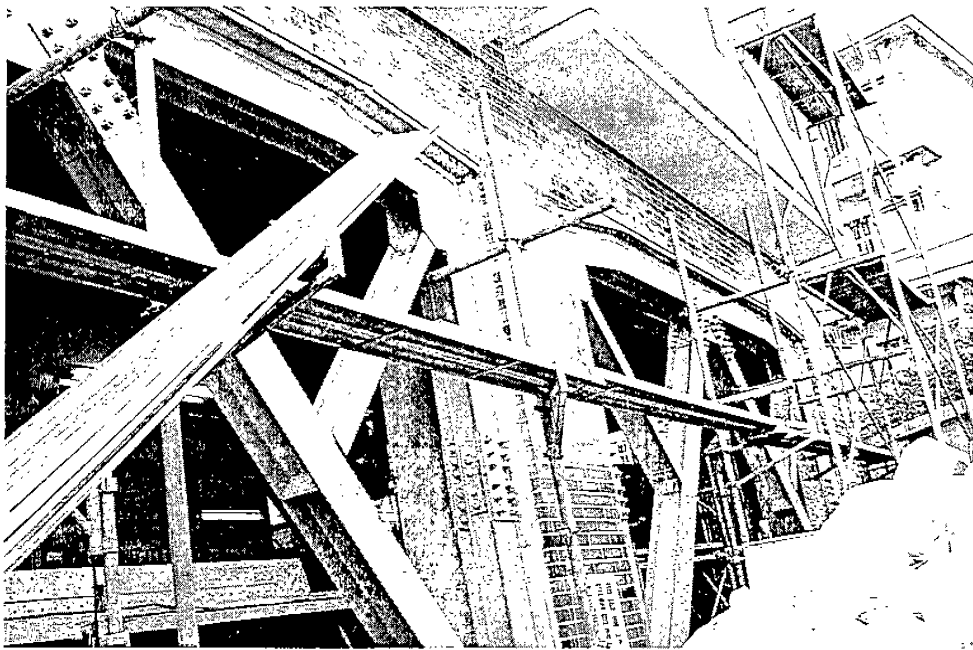
結構耐震被動控制系統(氣壓式彈簧及液態阻尼器)



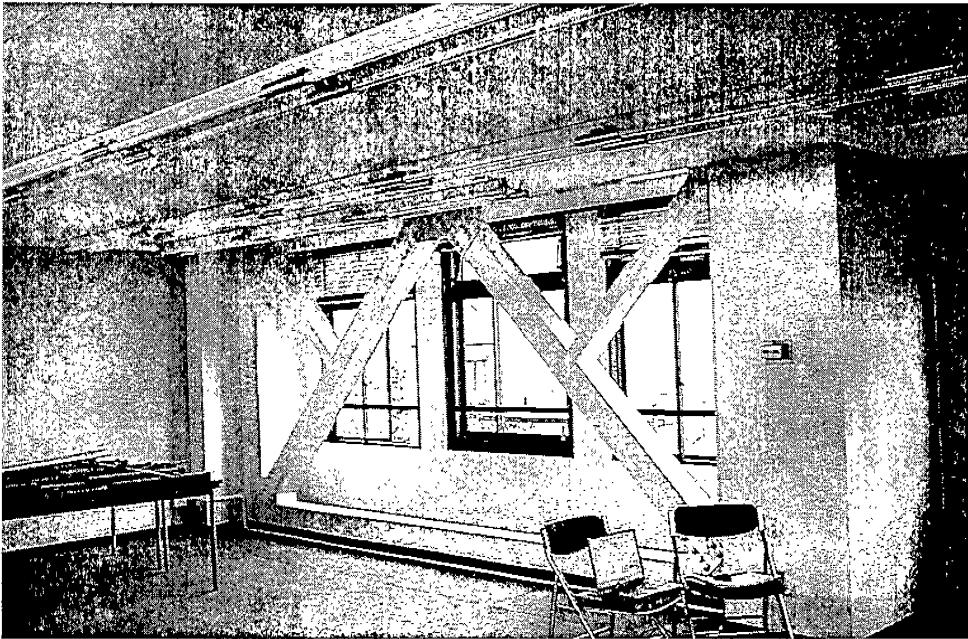
增設 RC 剪力牆



鋼筋植筋



圖書館增設剪力框架



圖書館增設剪力框架完工情況