

建築構造 設計에 關한 小考

(2)

鄭 日 榮 (서울工大教授)

[2] 使用材料

(1) 콘크리트

콘크리트는 多質의 構成體이다. 母體가 되는 어떤 材 料가운데에 異質物을 混合시켜 複合材料를 만드는 目 的 에는 두가지가 있다. 中 하나는 材料内部의 応力을 Matrix(母材)와 異質物(particle)이 分担하여 材料를 強 化하는 경우와 다른것은 單純한 Extender로서 그 經濟 性을 目標로 하는 경우이다. 假令 asphalt 또는 cement 안에 骨材를 使用하는 것은 後者에 屬하겠으나, 特히 concrete의 경우에는 骨材가 concrete 全体積의 65~70 % (粗骨材만으로는 35~50%)에 達하므로 concrete 品質 에 對하여 重要한 役割을 할것으로 推定된다. 近年에 일 으러서는 concrete의 性狀에 關한 研究가 進展함에 따라 그強度나 破壞機構를 爲始하여 모든 物理的인 性質에 對 하여 骨材나 母體 自体와 同時에 그들의 境界層의 特性 이 크게 影響한다는것이 明白하게 되었다. 그러나 骨材 는 여러가지 岩質, 粒度, 粒形이 混合된 集合體 이므로 岩石과 Matrix로서의 cement paste 또는 mortor 사이의 接着現象 自体에 對한 解明도 充分하지 않을뿐더러 그 多質的인 構成素材 相互間의 關係에 關하여서는 그다지 明確하지 않은 點들이 많다. 이와같은 concrete의 性狀 의 解明이 基本的인 問題이다. 이 以外에도 콘크리트技 術界에 當面하고 있는 課題로는 高強度콘크리트의 問題 이다. 이것은 콘크리트를 여러個의 細孔으로 形成된 Sponge Skelton으로 model化하였을때 細孔속에 들어가

있는 遊離水가 蒸氣하면 Sponge는 乾燥收縮되고 이로인 하여 콘크리트의 耐力이 低下하게 된다. 따라서 콘크리 트가 硬化할때까지 水分의 蒸發을 防止하는것이 要望되 며 이 目的을 達成하기 위하여 濕潤養生을 하게 된다. 그 런데 實際 施工할때는 養生期間이 短縮되면 相當히 工費 節減 또는 工期短縮이라는 利點이 생긴다. 한例로서 表 2-1를 살펴보면 W/C=32%일때는 養生期間이 1일이

表 2-1 w/c와 濕潤養生期間

w/c比 (%)	32	40	45	50	60	70	70以上
濕潤養生 期 日	1日	3日	7日	14日	6個月	1年	無 限

므로 自然 콘크리트의 高強度化가 必要하게 된다. 그리 고 콘크리트는 引張力에 關하여 弱하여 쉽게 龜裂을 일 으키게 된다. 그런데 圖 2-1는 1965年 英國의 K. new- man이 國際會議에서 發生한 論文 properties of concrete 에 記載된 圖表로서 W/C=32%일때 가장 龜裂低抗이크 다는 것을 指摘하고 있는것으로 미루어보아도 콘크리트 의 高強度化는 不可避하다. 이 以外에도 構造物의 大規模 化, 量産化, 高層化할때는 高強度콘크리트의 實現이 要 望된다. 高強度콘크리트를 얻은 方法으로서

(가) 結合材로서의 Cement의 化學組成을 改善하여 Cement 그 自体를 高強度化하는 方法

(나) Concrete의 配合, 굳히는 方法, 養生方法을 改善하여 낮은 물 시멘트비의 콘크리트를 만드는 方法

(다) 合成樹脂 등의 添加 또는 塗布에 의한 시멘트 強度의 改善을 圖謀하는 方法

(라) Particle인 骨材의 選擇 등이 있는데 이 가운데서 製造 및 取扱이 容易한 낮은 물 시멘트비를 가진 콘크리트로 만든 方法이 가장 實用性이 있는 것으로 判斷된다.

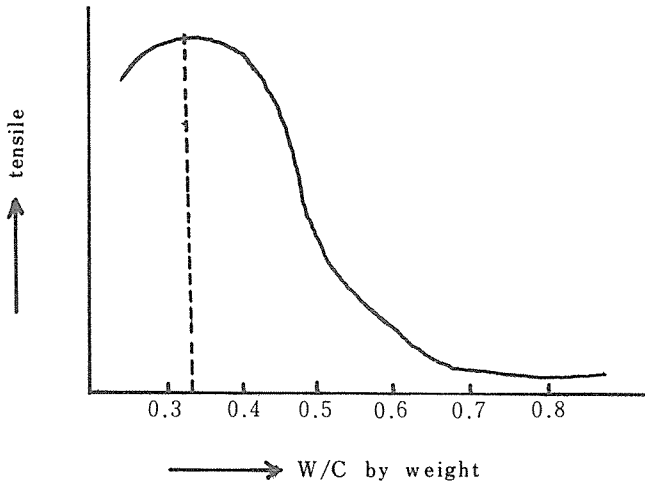
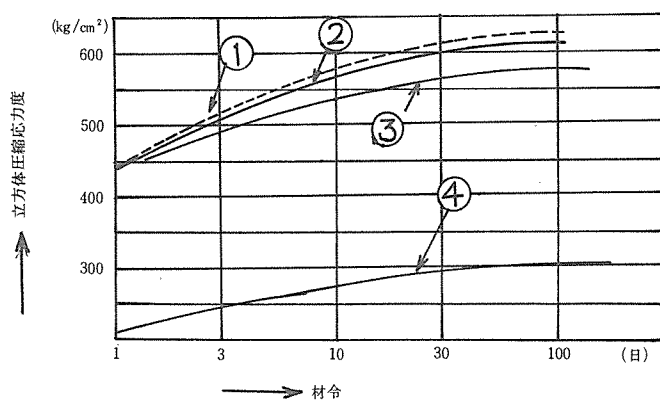


圖 2-1 w/c와 tensile의 關係

普通 使用되고 있는 材料로서 強度 500kg/cm^2 인 콘크리트를 얻을려면 물 시멘트비 32%, 시멘트:總 骨材重量比 = 1:2 程度로 할 必要가 있으며, 이와같이 시멘트량이 顯著하게 많은 콘크리트에서는 모래량을 낮게 하여야 하므로서 粒徑 5mm以下인 모래 10%와 粒徑 5~10mm의 자갈을 90% 混合하여 使用하는 것이 바람직하다. 圖 2-2는 硬質碎石을 使用하여 上記條件으로 製造한 콘



- ① 시멘트 페이스트 (w/c=32%) 페
- ② 硬質骨材 使用時의 콘크리트 (C:G=1:2, w/c=32%)
- ③ 比較的 軟質骨材 使用時의 콘크리트 (同上)
- ④ 普通콘크리트 (C:G=1:5.5, w/c=55%)

圖 2-2 콘크리트 強度와 材令과의 關係

크리트의 材令과 10cm立方体 圧縮強度와의 關係를 나타낸 實驗結果로서 硬質骨材일 때는 620kg/cm^2 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$ cylinder로 強度를 換算하면 527kg/cm^2)의 콘크리트를 얻게 된다. 高強度콘크리트를 얻기위한 다른 方法으로는 콘크리트의 workability를 確保하는 同時에 낮은 물 시멘트비를 얻어야 할 것이다. 콘크리트 訂設時에는 比較的 큰 물 시멘트비로 하고 成形後 加圧 또는 眞空處理 등의 手段으로 剩餘水를 짜아내는 方法도 있으나 prestressed concrete와 같이 比較的 大型部材를 가진 境遇에는 困難할 것이다. 上記의 英國에 있어서의 研究에서는 시멘트량이 많아지므로 水和發熱量, 收縮 및 Creep 量이 커지고 不經濟的이므로 減水劑를 利用하여야 할 것을 생각하게 된다. C. Macinnis 및 D. V. Thomson는 高強度콘크리트를 얻을수 있는 여러가지 方法을 研究하였고, 이들에 關하여 相互比較檢討하였다. 圖 2-3은 減水劑를 使用하여 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ Cylinder의 材令 28日 圧縮強度 試驗結果로서 600kg/cm^2 以上의 高強度콘크리트를 普通方法으로 얻을수 있으므로 減水劑의 積極利用을 말하여 주

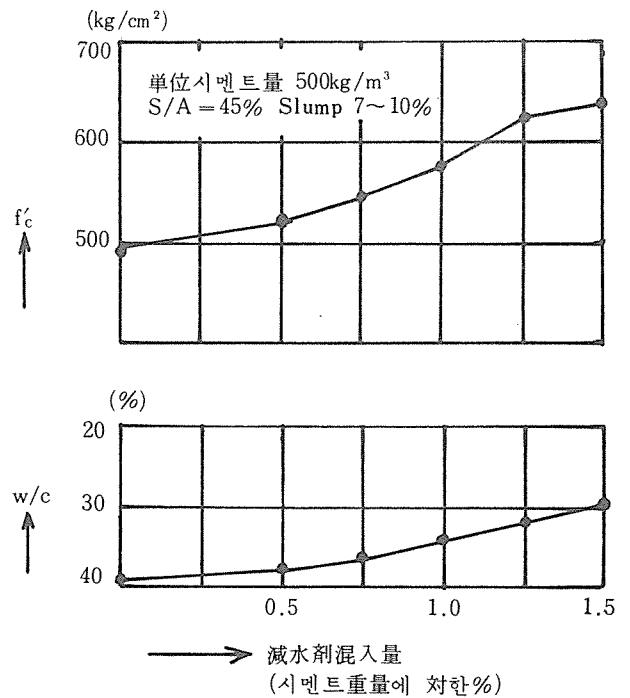


圖 2-3 減水劑混入量과 w/c 및 f'_c 關係

고 있다. 假令 W/C=40%인 콘크리트에 減水劑를 시멘트 重量比로 1.5% 插入하면 水和作用이 進行하는 동안에 使用水量의 10%程度가 減少되는 同時에 콘크리트의 圧縮強度는 120kg/cm^2 程度 增加하게 된다. 養生方法에 의한 高強度化 方法으로는 圖 2-4에서 알수 있듯이 活生 Silica 添加콘크리트를 5時間 auto clave 養生하면 急進的인 強度增加를 見볼수 있다. 이 實驗에서는

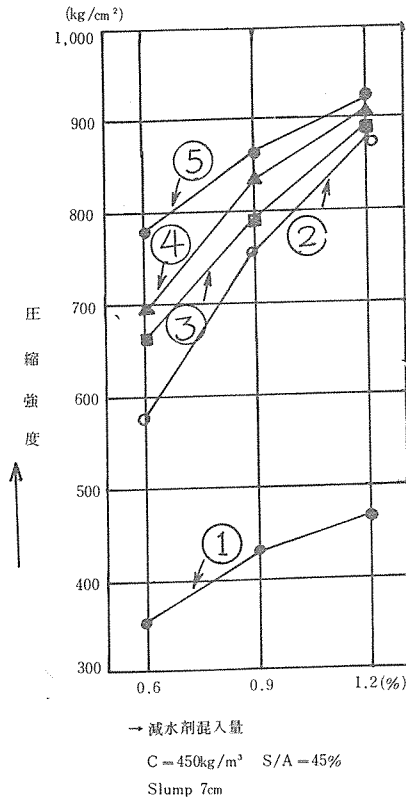


圖 2 - 4 養生法과 壓縮強度의 關係

- (가) 材令 1 日에 65°C로 蒸氣養生 : ①의 경우
- (나) 材令 1 日에 水中養生 : ②의 경우
- (다) 材令 1 日에 蒸氣養生後 繼續하여 水中養生 : ③의 경우
- (라) 普通 Cement를 使用하여 5 時間 autoclave 養生 : ④의 경우

(마) 活性 Silica를 Cement에 混入한 콘크리트를 5 時間 autoclave 養生 : ⑤의 경우 등 養生方法에 의한 強度變化를 알수있고 減水濟를 使用하여 900kg/cm² 以上의 高強度를 얻게되었다. 1970年 FIP大會에서 auto-clave에 의한 高強度콘크리트를 prestressed concrete에 利用하는것이 注目되었고, H. Pollet는 最高強度 2,000kg/cm²를 얻었다고 報告되고 있다. 그러나 石灰 Silica 反應에 의한 高強度콘크리트는 그自身 中性이라는 점에서 PS 鋼材의 發請切斷의 危險性이 높다고 생각되어 그使用에 慎重을 期하고 있다. 따라서 活性 Silica를 使用하지 않은 普通 Concrete로 autoclave 養生하면 超高強度는 얻을수없다. 여기서 普通콘크리트를 그대로 autoclave 養生하면 標準 養生의 1.1~1.2倍 程度의 強度이다. 따라서 減水濟를 使用하면 活性 Silica 使用에 匹敵하는 強度를 나타낸다. 圖 2-4의 例를 보면 減水濟를 1.2% 混入하므로 870-920kg/cm²의 高強度콘크리트를 쉽게 얻게된다. 마지막으로 骨材의 粒徑에 의한 強度變化를 살펴보기로 한다. 지금 콘크리트의 物理的 性質을 나타내는 壓縮強度는 巨視的으로는 W/C 比에 의하여 左右되겠으나 微觀的으로는

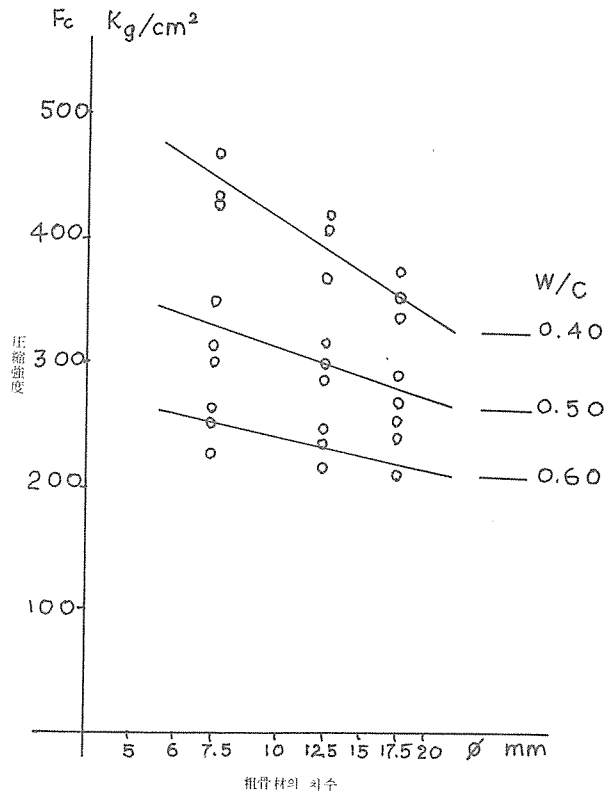


圖 2 - 5 粗骨材의 粒徑과 壓縮強度의 關係

콘크리트의 構成要素인 粗骨材의 粒徑에 左右된다는것을 알수 있다. 圖 2-5는 W/C=40~60%範圍에서 實驗한 結果로서 W/C 比가 큰 境遇에는 粗骨材의 大小에 크게 影響을 주지않으나, W/C 比가 적은範圍에서는 粗骨材의 粒徑 大小에 크게 影響을 주는것으로 나타나고 있다. 例컨데 粗骨材의 粒徑이 클수록 콘크리트의 設計強度 보다 顯著하게 強度低下 現象을 나타낼을 알수있다.

이것은 粗骨材는 一種의 Extender로서 異質物 이므로 콘크리트의 強度를 低下시킨다는것을 알수 있다. 그런데 같은 配合比를 가질 境遇, mortar 自体는 相當히 強度를 維持할수 있으나, 水和作用 過程에서 乾燥收縮이 極甚하여 耐力이 低下되게 되므로 이를 防止하는 目的으로 粗骨材의 插入이 不可避하게 된다.

따라서 어느程度의 骨材粒徑을 使用하였을때 設計強度에 가까운 콘크리트를 얻을수 있는지 實驗과 理論式으로 分析한 結果, 漢江 자갈은 限界粒徑이 4.6mm임을 알수있다. 參考로 外國의 例를 들어보면 美國의 경우는 3/16", 獨逸는 7mm, 日本은 5mm이다. 그리고 콘크리트의 乾燥收縮은 鉄筋補強으로도 어느程度 막을수 있다. 한例로서 無筋콘크리트의 打設 1年後의 收縮量은 約0.05% (30m 部材일때 1.5cm)이고, 輕量콘크리트는 0.07% (30m 部材일때 2.1cm)인데 콘크리트斷面에 2% 補強筋을 使用하면 乾燥收縮量의 約75% 即 0.0375% 減少시킨다. creep의 境遇에는 콘크리트 打設 1年後에 150m 높이의 建物이 15cm 줄어든다. 여기에 補強筋을 2% 使用하면 creep

strain는 50% 減少되므로 7.5cm程度로 줄어들고 補強筋이 5%일때는 Creep strain는 70% 減少되므로 建物の 높이는 4.5cm만 減少되게 된다.

(2) 鋼材

鉄筋콘크리트用 鋼材는 降伏點이 24~50kg/mm²範圍內의 軟鋼(mild steel)이 使用되고 있으며, 30kg/mm² 以上인것을 高強度鉄筋(high tension steel bar)라 한다. 그리고 鋼材의 強度를 增大시키기 위하여 Manganese, silicon等의 元素를 微量添加하여 熱間圧延한 成分調整鋼은 熱處理로 因하여 toughness는 減少되겠으나, chrome nickel 또는 銅等의 다른 金屬과 合金하면 炭素鋼에 比하여 腐食抵抗이 4倍나 增加한다. 그리고 普通軟鋼에 冷間비틀, 冷間引張等의 加工으로 降伏點을 높여서 冷間加工鋼으로 하는 경우가 있다. 이것은 3,000kg/cm²인 普通鉄筋을 4,200~4,300kg/cm²으로 높은 引張強化 鉄筋으로서 Tor stake, Isteg stahl等이 있다.

構造計劃의 原則

(1) 構造設計의 基本

構造設計에서 가장 重要한 것은 計算이나, 各部材를 設計하는것 보다는 기둥의 配列, 보의 配置, 마루構造, 壁體構造, 基礎의 選擇等 建物全體를 놓고 構造物에 흐르는 힘과 그 힘의 Balance가 잡혀있는지 計劃되어야 한다 大概是 外觀上 無理한 形体라 하여도 構造設計上 不可能한 일은 없다고 하지만 우선 보기-좋하고 構造的으로 不合理할뿐 더러 不經濟인 設計가 된다. 要是 構造形体가 自然스럽고 힘의 흐름에 無理가 없으면 좋은 結果를 얻게 된다고 判斷하여도 좋을것이다. 좋은 構造設計는 骨組形体의 選擇과 決定으로서 設計者의 綜合的인 判斷에 의한 것이지만, 이것은 構造設計者의 力學的訓練에 의하여 可能한 것이다. 그런데 建物은 크기및 規模가 같다고 하여도 그 用途, 環境, 地盤條件이 相異할 때에는 構造形体가 달라지므로 簡單하게 構造計劃에 關한 具體的인 指針을 決定한다는것은 어렵다. 따라서 設計上 가장 重要하다고 생각되는 一般的인 事項을 細分하여 記述하겠다.

(가) 平面및 立面

建物の 平面은 可及的이면 Simple 하고 마무리가 잘된 것으로 選擇하는것이 重要한 事項이 된다. 外形은 될수 있는대로 圖 2-6 (a)와 같은 正方形, 長方形인것이 좋으며, 長方形平面에서 한辺이 길어지는것은 別 支障이 없으나, 各部分의 剛性이 均一하여야 한다. 높거나 큰建物에서는 T形, L形, 凹形, H形 其他 複雜한 平面에서는 建物の 날개部分이 길수록 不利하고 工場과 같이 機械振動이 있을 境遇에는 不規則한 部分에 應力이 集中되어 被害를 입게 된다. 建物の 立面에서는 圖 2-7과 같이 高

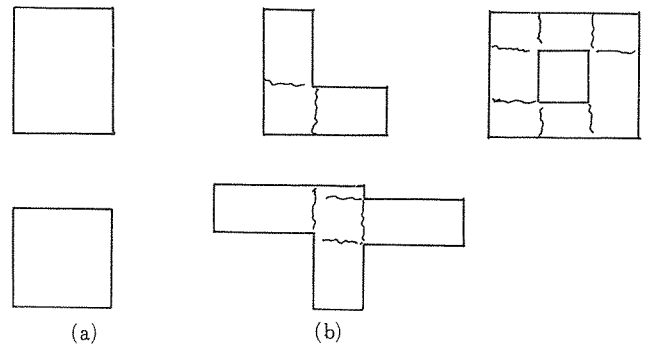


圖 2-6 建物平面의 形体

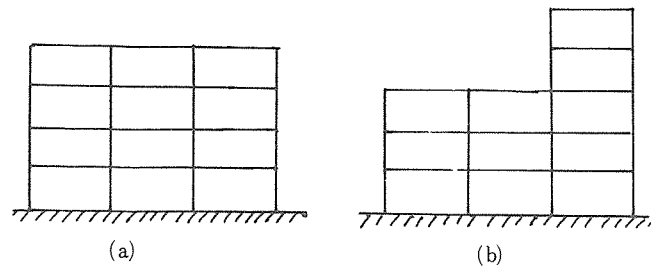


圖 2-7 建物の 立面形体

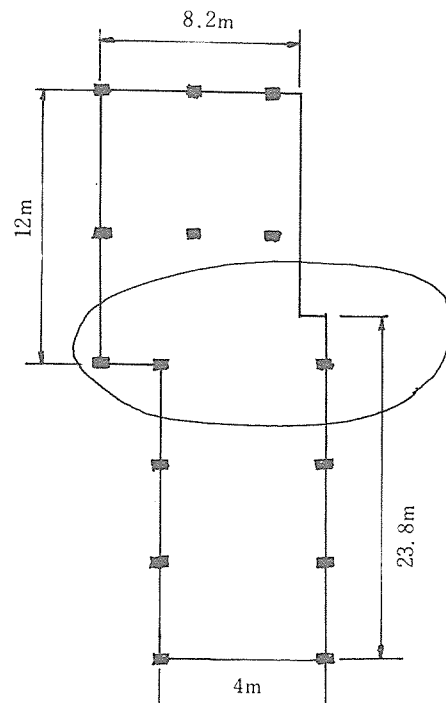


圖 2-8 平面

低의 程度가 적을수록 좋고, 屋上과 같이 突出部가 있는 境遇에는 높은部分에서 낮은部分으로 應力이 移動하게 된다. 實例를 들어보면 圖 2-8과 같은 平面을 가진 5層 鉄筋콘크리트構造物이 옆에 19層建物を 세우므로써, ○票로 表示된 部分에 各層마다 最大幅 5cm인 龜裂이 形成되어 訴訟事件이 있었다. 原告建物は 訴訟當時로부터 約 14年前에 세웠으며, 被告側建物は 1971년에 竣工되었 다. 그後 2年쯤 經過되었을때 原告建物の ○票部分에 應

力集中現象이 일어나서 集中的으로 龜裂이 形成되었다. 이 原因은 첫째로 建物平面이 不規則하여 建物 Volume 이 큰 뒷部分과 작은 앞部分의 境界部分에 応力集中이 일어났고, 둘째로는 柱의 配列이 너무 촘촘하여 보의 彈性變形이 기둥으로 因하여 拘束 當하여 極甚한 龜裂을 볼 수 있었다. 따라서 보의 剪斷塑性係數가 0.6이 되도록 構造設計되었으면 龜裂被害는 적게 막을수 있었다. 두번

제 實例로는 圖2-9로서 日本 國鐵 勞動會館의 計劃案과 實施案이다. 同圖(b)는 構造計劃한 會館正面의 骨組로서 C列에 기둥을 세울 計劃이었으나 彈性解析 結果 A B 部分의 剪斷壁體의 剛性이 높아, DD 部分의 보變形이 拘束되어 C列 × 票部分에 應力이 集中되어 (a)와 같은 實施案으로 바꾸어 施工하여 應力集中現象으로 因한 被害를 事전에 막은 例이다.

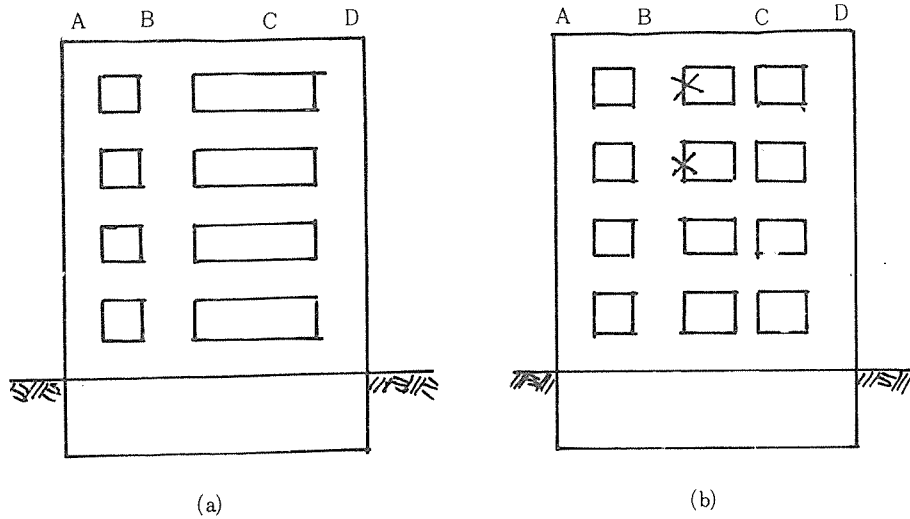


圖2-9 建物の 立面形体