構造物의 組立化에 関하여(1)

鄭 日 栄

1. PC 組立의 原理

콘크리트는 圧縮力에 対한 抵抗力이 크나, 引張力에는 대단히 弱하기 때문에 鉄筋콘크리트部材를 設計할 때 에는 그림 1 (ㄱ)와 같이 引張力을 받게될 콘크리트部分 1, 2,3,4,를 無視하고 鉄筋만이 引張力을 負担한다고 假定하는 것이 慣例로 되여, 鉄筋콘크리트 断面은 力学的으로 全断面을 有効하게 適用할 수 없다. 따라서 그림 2 (ㄱ)와 같이 어떤 方法으로도, 미리 材軸方向으로 断面에 圧縮, 応力度를 導入시켜 놓으면 固定荷重 D.L. 및 積載荷重 L.L. 으로 中立軸아래쪽에 引張応力図가 増加하여도 그림 2 (ㄴ), 또는 (ㄷ)에서 알 수 있드시 初期에 導入되였던 圧縮応力度만 減少할뿐 그림 2 (ㅂ)와 같이 断面에는 引張応力度가 発生하지 않는다. 이와같이 引張에 견디는 範囲가 大幅 拡大되였을 뿐 아니라 全断面을 有効適切하게 利用하는 prestressed concrete方式을 最近에는 広範囲하게 設計에 適用하게 되였다. 그런데 架構에 이 方式을 利用하는 境遇를 생각하여 보자. 假令 그림 3 (ㄱ)에서 A, B는 힘을 加하여도 変形을 일으키지 않을 程度의 剛性이 큰 기둥으로서 보 C에 配置된 緊張材를 잡아다녀 各各 a, b 에 碇着시켜도 기둥 A, B가 剛体이므로 보는, 縮少되거나 휘어지지 않는다. 따라서, 보 C는 全혀 緊張力이 導入되지 않었다고 볼 수 있다. 또한 그림 3 (ㄴ)과 같이 緊張材를 曲線状으로 配置할 때 緊張材에는 上向의 応力度가 作用되여 軸方向力은 앞서와 같이 発生되지 않고 보에는 휨 모멘트가 有害하게 作用한다. 이 때 節点에 있어서의 기둥에 伝達되여 기둥 頂点에 不静定 軸方向力 및 不静定 휨 모멘트를 그림 4와 같이 일으킬뿐 아니라 보에도 緊張力이 完全히 導入될 수 없으므로 不経済的이다. 万一 기둥의 휨剛性이 적을때에는 보에 対한 拘束影響이 적으므로 架構에 緊張力을 導入할 수 있다. 그런데 多 Span이 되면 各個의 기둥의 휨剛性이 적어도 기둥의 휨剛性이 加算되여 最外端의 보일수록 기둥에서 받은 拘束力이 커져 緊張力 導入이 어려워진다. 그런데 보에 緊張力을 導力할 境遇, 기둥 頂点에 있어서의 拘束을 적게 할 때에는 기둥에도 緊張力을

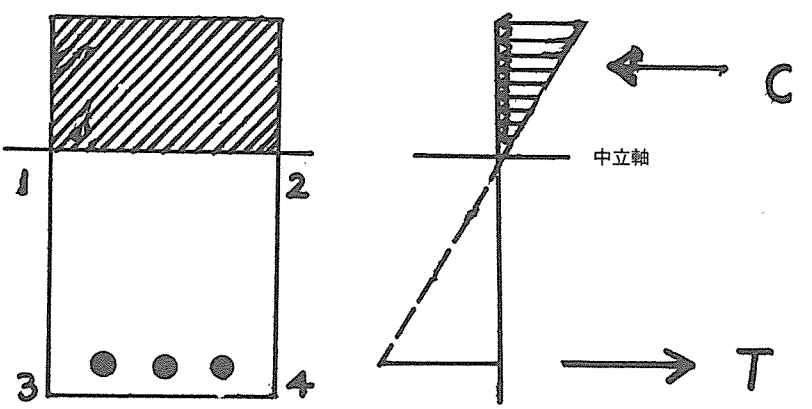


그림 1 鉄筋콘크리트断面 및 応力度

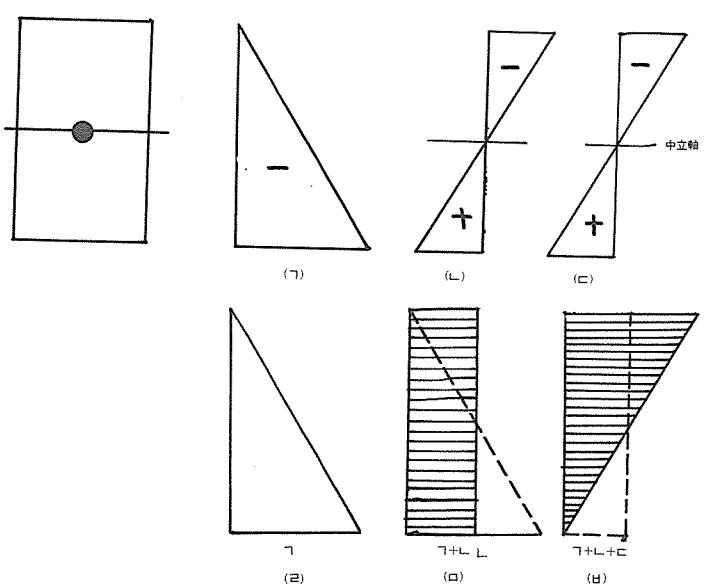


그림 2 휨材의 緊張力図

筆者：서울大学校工科大学 建築学科長

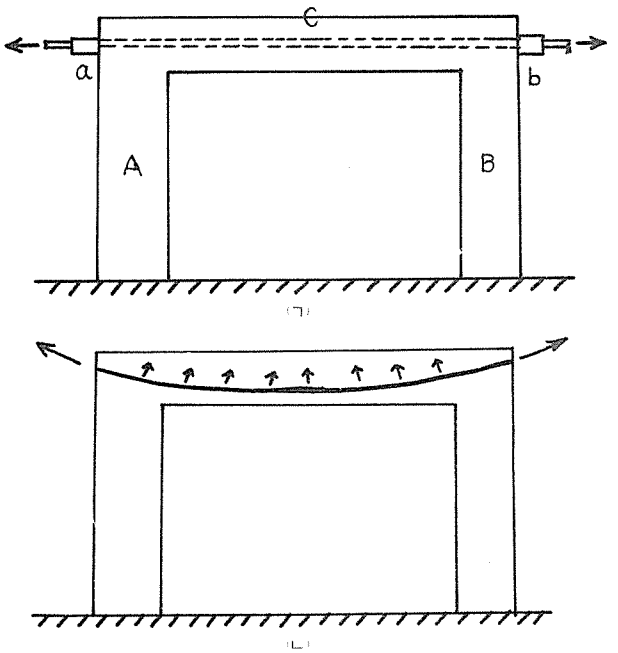
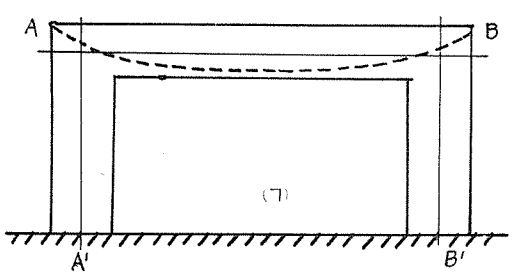


그림 3　緊張力 導入時의 部材의 縮少를 完全阻止 하였을 때 Prestress



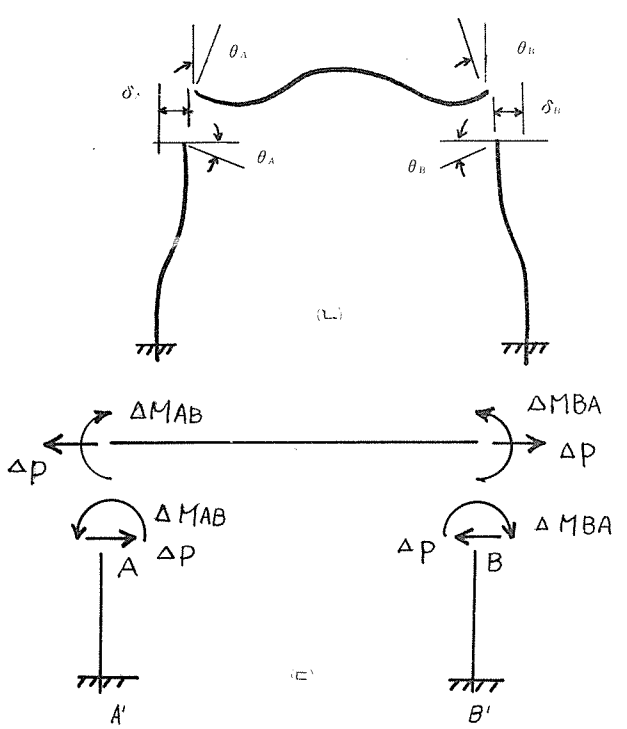


그림 4　一体式 架構의 緊張力 導入時의 擧動

導入하여 強制的으로 変形을 일으키면 된다. 即 그림 5에서와 같이 기둥과 보를 分離시켜 생각하면 静定構造이므로 緊張力의 完全 導入이 可能하게 된다. 이때 節点 A, B, C에 있어서의 廻転角을 θ_A, θ_B, θ_C, 節点의 水平移動量을 各各 δ_A, δ_B, δ_C라 하자. 그리고 기둥은 各各 上向의 Cantilever 部材이므로 여기에도 緊張力을 導入하면 이것도 完全 導入이된다. 기둥은 그림 (ㄱ)에 表示된 바와 같이 緊張材가 配置되어 있으므로 各 기둥의 頂点 A, B, C에는 緊張力 導入으로 廻転角 $\theta_{A'}$, $\theta_{B'}$, $\theta_{C'}$ 및 水平移動 $\delta_{A'}$ $\delta_{B'}$ $\delta_{C'}$이, 일어 난다. 따라서 기둥과 보에 各各 表示된 바와같이 独立的으로 緊張力을 導入하여

$$\theta_A = \theta_{A'} \quad \delta_A = \delta_{A'}$$
$$\theta_B = \theta_{B'} \quad \delta_B = \delta_{B'}$$
$$\theta_C = \theta_{C'} \quad \delta_C = \delta_{C'}$$

이 되도록 緊張材를 配置하여 緊張力을 導入하면 分離한 보와 기둥의 各 節点 変位의 連続条件이 스스로 満足 되여 緊張力 導入에 同伴되는 不静定力이일어나지 않게 된다. 그리고 기둥, 보 等 単一 precast 部材를 現場에서 緊張力을 導入하여 一体式 架構로 組立하면 보에서 일어나는 不静定力이 기둥에 伝達되지 않으므로 経済的인 設計를 할 수 있다.

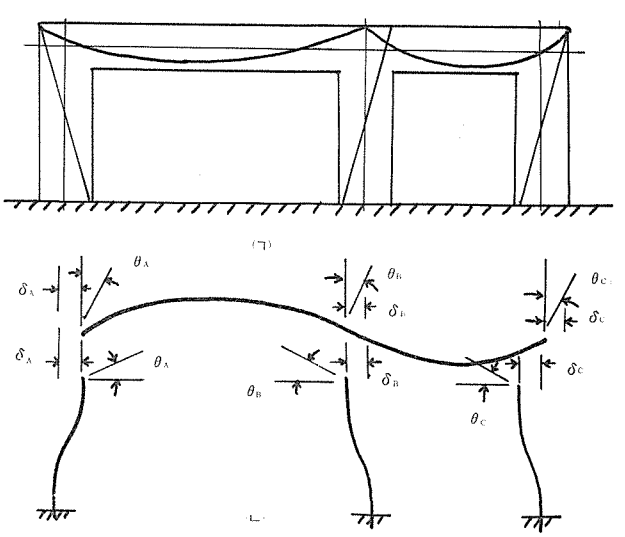


그림 5　2 Span 일 때 緊張力 導入時의 擧動

2. 組立化의 現況

앞서 論述한바와 같이 2 span 架構인 境遇, 現場에서 一体式 架構에 緊張力을 導入하여 PC 架構로 製作하는 것은 어렵지 않다. 그러나 多span 架構일 때는 보에 緊張力을 導入하여도 기둥의 剛性 때문에 보의 変形이 阻止되어 所定의 緊張力이 보에 導入되지 않을 뿐더러, 기둥에 휨 모멘트가 일어나기 때문에 設計上 不経済 이다. 이 때문에 기둥에도 緊張力을 導入하여, 기둥이 보에 対한 変形阻止를 緩和시키는 方策이 必要하게 된다. 実際

로 部材에 緊張力을 導入하여 가장 效果가 있는 것은 휨材로서, 그 目的은 設計 휨 모멘트와 逆方向의 prestressing Moment를 部材에 作用시켜놓고 휨 모멘트에 견딜 수 있는 能力을 增大시키는데 있다. 기둥과 같이 設計荷重에 의한 軸圧縮力이 同時에 作用하는 部材에서는 휨모멘트가 軸圧縮力에 比하여 顯著하게 클 境遇 PC柱 로서의 效果가 있다. 그러나 普通의 境遇에는 기둥에 緊張力을 導入할 必要性은 없을것 같다. 但只 組立化 過程에서 윗層의 기둥을 아래層 기둥과 剛結할 目的으로 기둥에 緊張力을 導入할 수는 있다. 多span을 가진 架構에서는 一体式 架構의 보에만 緊張力을 導入하는 것은 대단히 不便하다. 欧洲에서는 不静定 架構의 기둥頂点, 기둥 脚点 또는 그中하나에 hinge를 設定하여 静定 또는 그에 가까운 狀態로 하여둔後, 거기에 緊張力을 導入하고 hinge 部分을 콘크리트로서 固定하여 剛節 構造로 改造하는 方法을 가끔 쓰고 있다. 이것은 緊張力 導入에 同伴되는 不静定力을 緩和 또는 소혀 없에는 方策으로서 工期의 延長 및 特定한 事情으로 緊張力 導入이 困難한 境遇를 除外하고는 多 span架構를 PS system으로 架設하는 方法 로 좋은 것이다. 이 方法은 現場치기, 工場 製作에서도 可할수 있으나, 한 個의 架構를 1 unit로 製作하여, 보에 緊張力을 導入한 後 現場에서 세워서 기둥 脚部 및 보의 接合部를 固定 시켜 多span 架構를 架設하고 있다. 이와 같이 1. unit의 重量은 莫大하며 우리 나라 現狀況에서는 架構를 架設하기 위한 建設 機械를 確保하는 것은 困難하다. 따라서 기둥, 보等 모든 単一部材를 輸送하는데 適合한 무게와 길이로 Block들을 만들어 이 precast 製品을 現場에서 組立하여 一体化하는 方法을 取하여야 한다.

그림 6 数個의 Precast Block를 連結한 Post tension 材

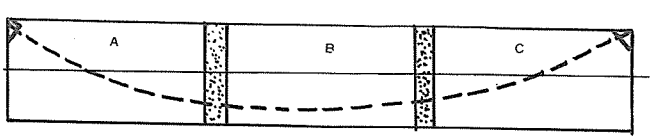


그림 6에서와같은 組立部材는一般的으로 接合部가 軟弱하기 쉬운 欠点이 있다. 特히 콘크리트는 乾燥収縮 으로 因한 경우를 생각하여 剛接 構造가 要求되므로 接合部의 剛節方法이 問題된다. PS 構造物에서 2個의 部材를 나란히 놓고 이들 中間部分을 wet joint로 製作하여 이것을 両쪽 2個 部分에 導入된 緊張力을 緩和시켜 이것으로서 圧着하면, 이 節点은 一体的으로 打設된 境遇와 같은 程度의 剛性을 갖는다. 이와 같은것은 이미 여러 実験에서도 確認되였다. 勿論 接合部는 圧着以外에도 剛節方法은 여러가지 있다. 이들은 그 나름대로 各各의 長点 및 短点이 있겠다. 組立構造를 採用하여 架構를 組立하는 途中, 載荷하는 手段等으로 一体式과는 相異한 設計 휨 모멘트의 分布狀態를 얻게 되고 断面設計上 有利하게 되는것도 組立構造의 長点이다. 그러나 組立構造라 하여 全部를 組立工法으로 架設하는 것은 아니다. 現場 打設도 混用하여 要는 設計上, 施工上, 有効한 部分만 PSsystem 을 使用하는 組立構造 方式을 採用하는 것이 得策이다.

3. 두 部材의 剛接法

콘크리트 組立構造에 있어서 가장 重要한 것은 그 接合部이다. 架構部材의 接合에서는 여러 原因에서 오는 휨 모멘트에 견디어야 하므로 特히 重要하다.

部材의 結合法으로는 部材端에서 突出된 鉄筋을 熔接 또는 겹침 이음을 하고 部材間의 틈사이를 現場 打設로 接合하는 鉄筋콘크리트的 接合法과 接合部에 緊張力을 導入시켜 두 部材를 圧着 接合하는 緊張力 接合法으로 크게 나누어 다루게 된다. 좀더 詳細히 剛接合 方法을 나누어 생각하면 다음 네가지로 分類된다.

(1) 보 端部를 普通鉄筋으로 RC 接合하는 法(그림 7)
(2) 기둥 위에서 보를 緊張力 接合하는法(그림 8)
(3) 기둥 側面에서 보를 緊張力 接合하는法(그림 9)
(4) 보를 節点에 緊張力 接合하는法(그림10)

첫번째 方法으로 보端部를 普通鉄筋에 RC 接合하는 境遇로서 接合部에 緊張力을 導入하지 않으므로 亀裂発生이 予想되고 좁은 断面에 接合用 鉄筋을 配置할 수 있는지 또한 두個 以上의 PS 보를 緊結할 때 問題点이 생기는 것이 欠点이다. 다음에 기둥 위에 보를 圧着 하는 方法으로 우선 緊張力을 導入한 Precast PS 보를 기둥 위에 놓고 기둥의 緊張材를 보 上端까지 延長하여 기둥에 緊張材를 導入하는 同時에 보를 기둥 頂点에 圧着하면 기둥과 보는 쉽게 剛接된다.即 post tensioning部材를 数個 Block으로 이어서 緊張力을 導入 製作하면 一体式으로 製作한 것과 같은 程度의 力学的 特性을 나타낸다. 이때 기둥은 現場 打設 또는 precast 製品이어도 無関하다.

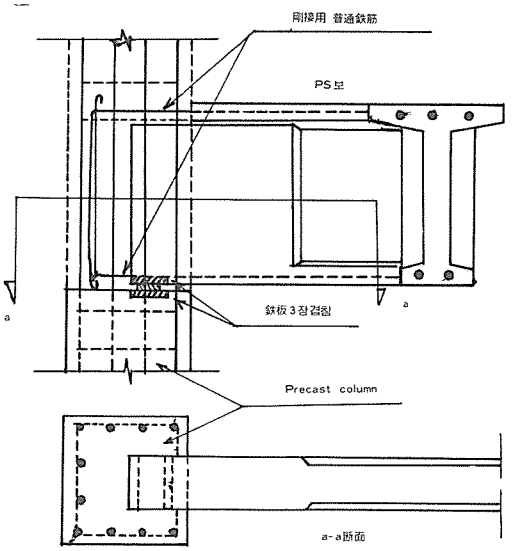


그림 7 普通鉄筋에 의한 보와 기둥의 接合法

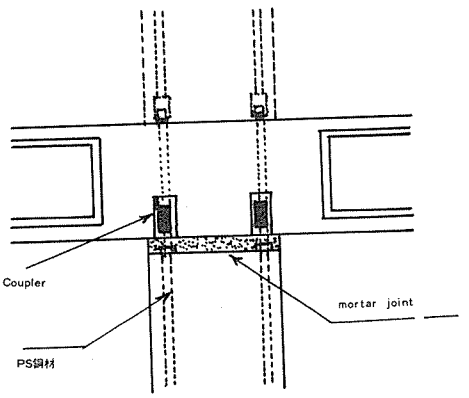


그림 8 Precast 기둥과 Precast보와의 圧着接合法

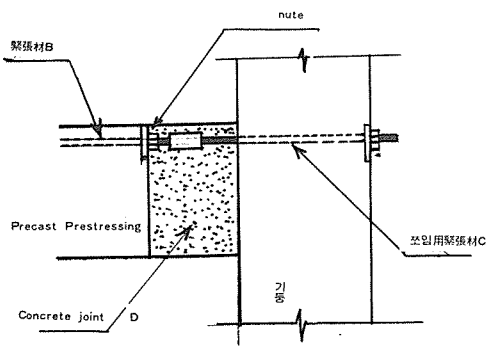


그림 9 기둥과 PS보의 接合法

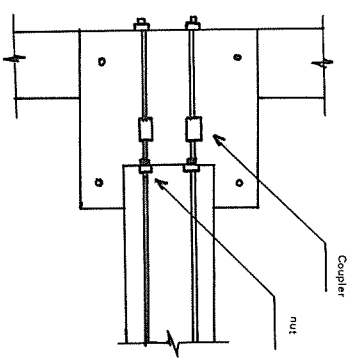


그림10 보를 節点에 緊張力 接合하는 方法

기둥의 緊張材는 기둥 頂部에서 充分히 突出시키고, precast 보에는 보를 지나게 되는 sheath를 材軸과 直角으로 묻어둔다. 그리고 緊張材를 貫通시켜 기둥 頂部에 놓고 PS보 上端에서 기둥의 緊張材를 잡아다녀 碇着 시키고 기둥의 Sheath 안에 Cement paste를 注入하여 Grouting 하면 完成하게 된다. 그리고 기둥의 重心軸과 緊張材 重心이 一致하면 기둥에 緊張力을 導入하여도 不靜定力은 일어나지 않으나, 偏心되였을 때는 緊張力을 導入할 때 同伴되는 不靜定이 일어나기 때문에 보에는 軸方向力과 휨 모멘트가 付加된다. 그림 8은 그 方法을 나타낸 것으로서 기둥의 緊張材는 coupler로서 接続하였다. coupler의 設置하는 場所는 그림 8에 表示한 바와 같이 凹部를 만들고 外部에 露出시켜 두면 作業하는데 便利하다. 2層以上의 高層 架構에서는 보 上端에 露出시킨 緊張材에 윗層의 기둥의 緊張材에 接続하여 나가는 方式을 取한다. 多 span 架構의 內柱일 때 그 바로 위에 PS보의 이음이 올 境遇에는 앞서와 같은 方法으로 이어가는 것은 困難할 것이다. 이때에는 보의 걸침이 얕아져서 材端 휨모멘트를 伝達하기 어렵게 된다. 普通은 보의 이음은 기둥 頂部를 避하여 그림 11에서와 같이 長期応力에 의한 휨 모멘트의 적은 位置를 골라서 水平力에 의한 휨 모멘트가 作用할 때 견디도록 이음을 設計할 必要가 있다. 그림12는 한 例로서 同図(ㄱ)은 angle鋼을 碇着板으로 使用하여 angle 相互를 걸쳐서 熔接한 것이다. 다음은 기둥 側面에 보를 圧着하는 方法인데 휨 모멘트가 顯著하게 클 境遇以外에는 亀裂이 発生할 憂慮가 없으므로 일부러 緊張力을 導入하여 軸圧縮力을 增加시키는 것은 不経済的이다. 勿論 앞서 말한 方法에서도 기둥의 緊張力은 単純히 기둥과 보를 剛接할 目的으로 導入하면 된다.

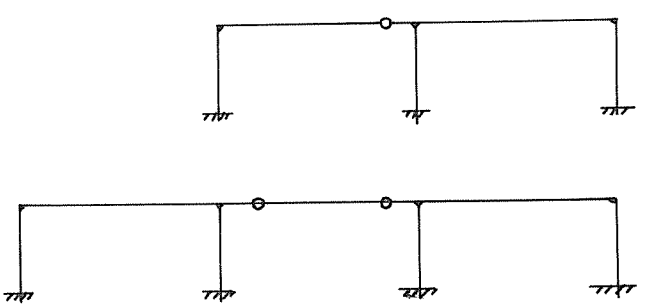


그림 11 보의 中間이음場所

PS기둥으로서의 設計를 할 必要는 없으며 経済的인 面에서 기둥에 緊張力을 넣지 않고 보와 기둥을 剛接하는 方法만 있으면 要望되는 일이다. 따라서 여기서는 보를 기둥 頂部에 圧着하는 代身 그림 9에서와 같이 기둥 側面에 보를圧着하여 剛接하면 이것은 보의 緊張材 를 기둥을 貫通시켜 기둥 外側面에서 쪼인것이 되고 기둥에는 緊張力을 導入할 必要가 없다 이와같은 方法은 多数 考案

되여 있으나 問題点이 되는 것은 앞서 論述한 바와 같이 보에 緊張力을 導入하면 部材의 길이가 縮少될 뿐 아니라 휘여져서 기둥이 이 作用을 阻止하여야 할 役割이 있으므로 기둥이 그만큼 負担할 必要가 생기므로, 보는 計劃되로의 緊張力을 導入하기 위하여 보에 導入할 때 同伴되는 部材길이의 縮少나 휨을 기둥이 全혀 拘束하지 않고 보와 기둥이 圧着 可能한 方法을 採用하는 것이 重要하다. 그림 9는 Precast 보A를 仮 支持台로서 支持하고 Precast Prestressing concrete 보에 配置된 緊張材B를 기둥에 쪼이는 目的으로 設置된 緊張材C와 Coupler로서 接続延長하여 Concrete Joint D를 打設한다. 그後 Joint D部分이 硬化할 때 緊張材B와 C에서 各各 緊張力을 緩和시켜서 Concrete Joint D를 圧着하여 剛接시킨다.

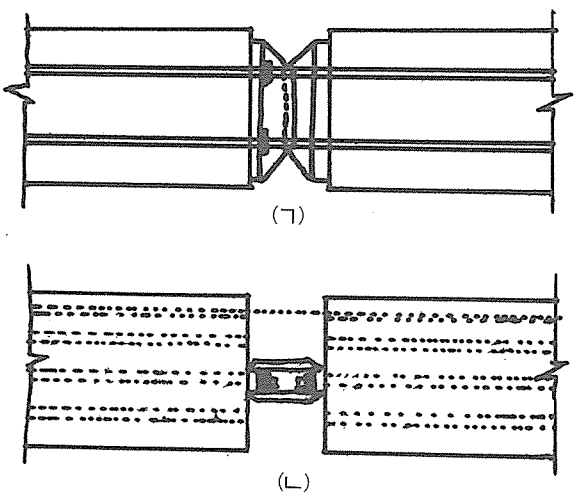


그림 12 보의 中間이음의 한例

이 때 緊張材C의 引張力을 緊張材B의 引張力 보다 조금 크게 하므로서 緊張材B의 nut E가 뜨는 傾向이 생기고, 보A가 伸長하려고 하기 때문에 Concrete Joint D를 圧縮한다. 同時에 쪼임用 緊張材C의 引張力이 기둥을 仲介로 하여 Concrete Joint D에 伝達되고 Concrete Joint에는 precast PS보 A와 같은 程度의 緊張力이 導入되여 剛接点을 形成한다. 쪼임用 緊張材C의 引張力을 故意로 크게 하지 않어도 precast prestressing concrete보 A의 緊張力은 Creep에 의하여 多少 減退하기 때문에 緊張材C의 引張力은 계획된 導入 引張力을 採用하면 된다. 이와같은 緊張力에 따라 Concrete Joint는 縮少되나 Precast prestressing concrete보는 이미 緊張力이 導入되여 部材의 길이変化 및 휨이 일어났기 때문에 기둥이 内部側으로 휘어져 節点에 不靜定力이 거의 일어나지 않고 一体式 架構일때와 같이 보의 緊張力이 기둥에 의하여 阻止되여 不完全한 緊張力 導入이 되지 않는다. 剛接이 끝난後에 直時로 보 緊張材 B및 쪼임用 緊張材C에 對하여 Grout를 施行한다. 이 方法은 쪼임用 緊張材C가 보의 緊張材B와 簡單히 接續될 수 있는 것이 必要하다. 따라서 Coupler에 의한 接續延長이 簡單한 PS 緊張材를 使用할 때 便利한 工法이다. 이 工法에 의한 剛節点의 性質에 関하여서는 実験的으로 研究되고 대단히 잘 된다는 것이 明白하다. 上記의 方法으로 PS 보를 기둥 側面에 圧着할 때 기둥은 鉄筋콘크리트 기둥이거나, 鉄骨柱이여도 無関하다. 또한 작은보를 큰보 腹部에 圧着하는 境遇에도 使用된다. 多 Span 架構의 境遇에는 그림13에 表示된 方法으로 架構를 順次的으로 建設하여 간다. 同図(ㄱ)은 現場 打設 PS보를 使用한 境遇로서 各 Span의 PS보와 기둥 사이는 最初 Concrete Joint 部分 A, B만 남기고 콘크리트 打設을 한다. 다음에 먼저 1 Span의 PS보 ①에 緊張力을 導入하고 쪼임用 緊張材를 接續하는 것이나, 이 境遇, 이것을 다음 Span의 PS보② 를 貫通시켜서 Joint B까지 延長시킨다. Joint B에서 緊張하면 보②에 緊張力이 導入되는 同時에 Joint A 에도 緊張力이 들어가고 A点도 剛接된다.

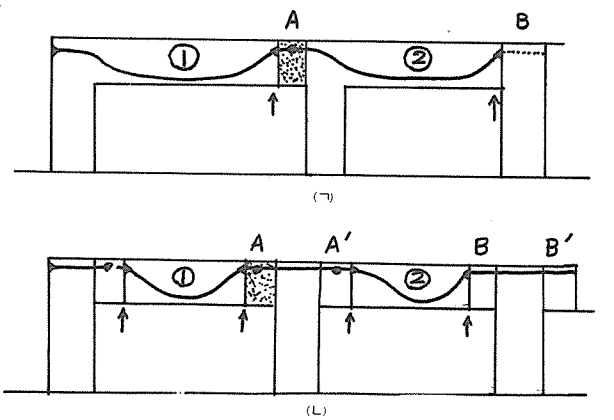


그림13 多 Span을 가진 架構의 剛接法

同図(ㄴ)는 Precast Prestressing Concrete 보를 使用할 때로서, Grout하지 않은 PS보 ②를 仮 支持台로서 支持하고 Precast 보①의 緊張材와 보②의 緊張材와를 接合하는 緊張材를 기둥에 貫通시켜 붙이고, 보②의 緊張材의 引張力을 緩和시킨다.그後에 直時 Joint A′ 側의 nut을 充分히 緩和시켜놓고 Joint A및 A′에 콘크리트를 打設한다. 그리고 콘크리트가 硬化한 後에 ②의 Joint B側에서 다시 緊張材를 所定의 引張力으로 緊張하여 碇着하여 剛接하면 끝나게 된다. 보②의 最初에 導入한 緊張力은 한번 開放된 것이므로 自重을 支持할 수 있

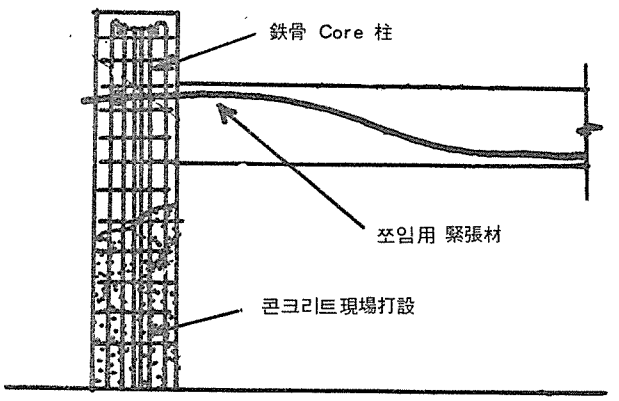


그림14 鉄骨Core柱를 使用한 剛接法

을 程度의 緊張力을 導入하여 두면 充分하고 全 緊張材를 쪼이고 最終的으로 緊張力을 導入할 必要는 없다. 그림14는 기둥 가운데 鉄骨 core柱를 設置하고 여기에 PS보를 剛接하여 仮 支持柱로 하여 그 周辺에 Concrete를 打設하여 硬化後 기둥 外側面에서 다시 緊張하여 剛接하는 方法으로서 그림 9의 方法을 應用한 것이다. 即 먼저 PS보의 仮 支持台가 되는 鉄骨 core 柱를 세우고 同時에 PS보를 現場 架設位置에서 製作한다. 緊張材는 圖示한 바와 같이 鉄骨柱 外側面까지 延長하여 두고 콘크리트 硬化後 鉄骨柱 腹材를 耐圧板으로 하여 보에 緊張力을 導入한다. 이 때 鉄筋柱는 보 自重을 支持할 수 있을 程度의 軟弱한 것으로도 된다.

따라서 보의 緊張力 導入에 의한 部材 길이의 縮少 또는 휨을 거의 妨害하지 않고, 보에 緊張力을 完全히 導入시킨다. 다음에 보의 緊張材에 쪼임用 緊張材를 接續延長하고 鉄骨 Core 柱 周辺에 콘크리트를 打設하고 硬化後 쪼임用 緊張材를 緊張 碇着하여 剛接을 完了한다. 이 方法은 長大 Span이고 重量이 큰 PS보의 架設에 適用되고 그림 9의 鏡遇와 같이 PS보의 仮支持台를 特別히 設置할 必要가 없다는 点에서 잘 되여 있다. 鉄骨 Core 柱가 윗層까지 延長되어있는 境遇로서, 特히 쪼임用 緊張材를 使用하여 緊接할 必要는 없다. 여러 学者들의 実験에 의하면 PS보의 端部에 圧着되어 있는 鉄骨柱가 보의 端部 모멘트를 完全히 伝達한다. 그림15는 美国에서 実施하고 있는 기둥 側面에 Precast prestressing concrete보를 圧着하는 方法이다. 기둥은 PS보의 Stem 端部를 延長하여 걸쳐있는 狀態이고 보의 端部를 기둥에 걸친 狀態를 地上에서 製作하여 Grout한다. 이때 보를 所定의 높이까지 올리고, 기둥 側面에서 짧은 rail을 挿入하여 보를 받고 기둥과 보 사이는 몰탈로서 매운다. Joint가 굳어지면 보端部의 拡大部와 기둥을 그림과 같이 쪼여 剛接한다. 이 方法은 鋼構造에서 보의 web angle에 의한 붙이는 方法과 類似하다. 쪼임用 緊張材는 길이가 짧고, 緊張力이 不確実하게 되는 欠点은 있으나, 보는 언제나 兩端에서 기둥에 쪼이게 되고, 多 Span 架構에도 利用되는 利点이 있다. 美国에서의 工事例로는 Span 40m, 쪼임用 緊張材 길이 2.5m, 모두 Freyssinet cable을 使用하여 施工하고 있다.

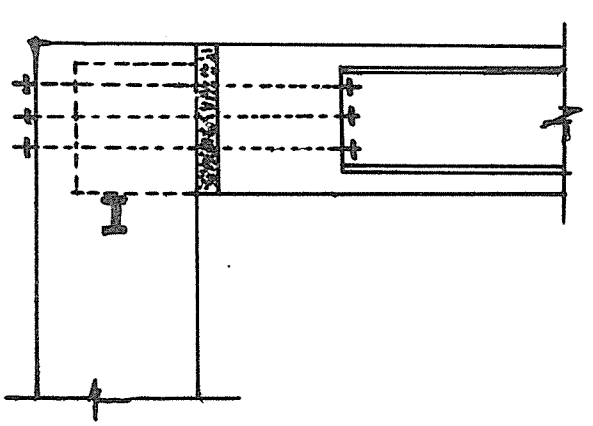


그림15 쪼임用 緊張材를 使用한 美国의 剛接法의 한例

〈新刊案內〉

建築構造力学 및 練習

정 일 영 4×6倍版
김 근 덕 460面
박 병 용 民音社
김 덕 재 発行
김 용 부 定価 4,500원

共著

建築構造力学

鄭 日 榮 著

定価 2,200원
東 明 社 発行