

PHÂN TÍCH THIẾT KẾ THÁP ĐÔI PETRONAS CAO NHẤT THẾ GIỚI

Charles H. Thornton, Udom Hunspruke và Leonard M. Joseph
Thornton – Tomasetti Engineers – New York Ny 10011. USA *
Biên dịch Nguyễn Bảo Huân

TÓM TẮT

Tháp đôi Petronas cao 451,9 m cứng khỏe chịu được gió bão, giải pháp thi công phù hợp công nghệ xây dựng tại các nước ở Viễn Đông, biểu hiện một phong cách kiến trúc thanh mảnh như thách thức với những siêu cao tầng trên thế giới. Hệ kết cấu lõi cứng tại trung tâm mặt bằng và các cột cùng các giằng dầm bao xung quanh chu vi tháp tạo thành hệ kết cấu lõi - ống (concrete core - tube structure system) bằng bê tông cường độ cao chịu tải trọng đứng và lực ngang hạn chế chống được dao động để người làm việc ở trong toà tháp không cảm thấy khó chịu. Cường độ bê tông thay đổi theo chiều cao của tháp chính (cao) và tháp phụ (thấp) và theo tiến độ thi công sau này.

Kết cấu Sàn bằng thép bản hợp kim gối trên các dầm thép hình là phương án kết cấu hợp lý với nhịp lớn, thi công lắp dựng nhanh và hiệu quả dễ cải tạo nâng cấp kiến trúc trong tương lai mà ít làm thay đổi tải trọng xuống móng. Khung cột-dầm có nhịp đơn từ 8,2 đến 9,8m. Trên giữa độ cao tháp bố trí dầm Vierendelle để tăng cường đặc biệt độ cứng cho hệ cột nghiêng thu hẹp dần theo chu vi mặt đứng lên đỉnh tháp. Vòm có nhịp lớn 58,4m đỡ duy nhất một **cầu trên không** nối liền hai toà tháp ở tầng 41- 42, tại đây chuyển vị ngang mỗi toà tháp theo mọi hướng đạt giá trị lớn hơn 300mm. Tháp có mái hình chóp nhọn bằng kết cấu thép hợp kim không gỉ. Phân tích bao quát những vấn đề như sự cân bằng lực, các vấn đề nghiên cứu khí động học gió tập trung độc lập vào mỗi tháp, các ảnh hưởng dao động giữa các tháp, các mái chóp nhọn, tác động toàn cảnh **cầu trên không** và chân vòm. Hai chóp mái cũng thiết kế các bộ phận chống rung đơn giản. Mỗi một trong bốn chân vòm đều tổ hợp khối lượng chống rung theo 3 dạng giao động chính do gió bão tác động.

1 MỞ ĐẦU

Tháp đôi Petrona cao 88 tầng vừa hoàn thành xây dựng (1999) tại Trung tâm thành phố Kuala Lumpur ở Malaysia- Thủ đô Kuala Lumpur. Diện tích gần đúng của mỗi tháp là 218 000m² gồm một phần trong 1,7 triệu mét vuông diện tích phát triển sử dụng hỗn hợp của Trung tâm thành phố Kuala Lumpur (Hình.1). Hệ kết cấu đứng gồm lõi cứng trên mặt bằng hình vuông và khung cột - dầm giằng biên theo chu vi tháp tròn sử dụng bê tông cường độ cao. Các bản sàn bằng thép hợp kim, thi công vừa nhanh vừa kinh tế, cải tạo - nâng cấp kiến trúc trong tương lai sẽ linh hoạt, tạo ra công nghệ xây dựng mới ở Malaysia. Hình dáng thanh mảnh của tháp và của các cấu kiện mà Dự án yêu cầu quan tâm thận trọng là dao động và gió bão. Các vấn đề này sẽ lần lượt được phân tích dưới đây:



Figure1: PETRONAS twin tower

2 TẠI SAO DÙNG KẾT CẤU BÊTÔNG

Nhà cao tầng trên thế giới thường thiết kế kết cấu chịu lực là Cột bằng thép hình, vì cột bê tông tính toán theo cường độ tiêu chuẩn thì tiết diện cột yêu cầu quá lớn, chiếm quá nhiều diện tích sàn sử dụng cho thuê. Song các cơ sở sản xuất vật liệu xây dựng ngày nay đều có khả năng hiện thực sản phẩm mới như silica-fume, siêu dẻo, bê tông cường độ cao được sản xuất và xử lý trên dây truyền tự động có độ tin cậy chất lượng cao, việc kiểm tra tiến hành ngay tại hiện

trường bằng thiết bị hiện đại tiên tiến mà nhà thầu thi công đều có khả năng đầu tư. Bê tông cường độ cao là vật liệu xây dựng có nhiều tính năng ưu việt cho công trình như sau :

1- kinh tế : Sử dụng bê tông cường độ cao thì giá thành không đắt vì tiết diện cột là tối thiểu, cột tiết diện bé nên giảm được diện tích chét trong phòng.

2- sử dụng hiệu quả lao động: Nhà thầu linh hoạt trong việc sử dụng lao động địa phương có kỹ năng cũng như lao động đơn giản để thao tác thiết bị bơm nước, đặt ống bơm, thùng xô chấu, cần trục , máy nổ.

3- các mối nối đơn giản: Về mối nối giữa cột / dầm hoặc giữa dầm ban công và cột có thể cấu tạo hình học má cột trơn hay nhám, các lồng cốt thép cho dầm hoặc dầm ban công được gia công tại xưởng và thi công nhanh lắp dựng buộc cốt thép bằng tay.

4- khả năng phòng cháy : lõi cứng bằng bê tông là kết cấu chịu lực có khả năng phòng chống cháy tốt.

5- hiệu quả cứng ngang : Các mảng tường bố trí cân xứng trong mặt bằng lõi cứng và các cột chu vi tạo ra độ cứng vốn có của hệ kết cấu lồng (tube system) cho công trình mà không cần tăng cường thêm các kết cấu phụ.

6- cảm giác bình thường cho người ở và làm việc : bê tông nặng có mật độ khối lượng trung bình làm tăng thêm độ cứng kết cấu, có tính năng làm giảm đáng kể độ dao động cho tháp, mà không phải lắp đặt thêm thiết bị nặng đặc biệt (tiêu tán năng lượng) chống rung, không làm tăng kinh phí, kéo dài thêm tuổi thọ cho công trình, tạo cho người ở cảm giác bình thường khi xảy ra gió bão,.

3- TẠI SAO SỬ DỤNG KẾT CẤU THÉP HÌNH

Thép hình hợp kim là loại vật liệu hiếm trên thị trường xây dựng ở Trung tâm thành phố Kuala Lumpur, sử dụng vật liệu này đem lại những hiệu quả cho Dự án như sau :

1- lắp dựng nhanh: Đối với các dầm giằng vành đai và mặt bằng cá biệt thì việc đòi hỏi phải thi công nhanh là không thực tế. Còn đối với sàn và dầm có mặt bằng điển hình cao mà dùng bê tông đúc tại chỗ là không hợp lý vì thi công sẽ chậm ảnh hưởng toàn bộ Dự án. Lắp dựng kết cấu thép hình nhanh hơn thi công cột dầm giằng- lõi cứng bê tông đổ tại chỗ .

2- Thi công đơn giản: các dầm và bản sàn bằng thép sẽ giảm bớt được công lao động chân tay vì không cần lắp lại nhiều lần buộc cốt thép trên cốp pha như sàn phẳng hay sàn có lưới dầm bê tông. Lắp dựng thép hình cần nhanh, nếu cần có thể sắp xếp lao động thi công liên tục, các bản sàn thép có thể xếp chồng đứng lên nhau để thi công hàng loạt sàn mà không cần đà giáo cốp pha.

3 — Triển vọng công xưởng: Hầu hết kết cấu khung gồm các thanh dầm nhịp đơn giản nằm giữa lõi cứng và các dầm giằng được gia công tại các công xưởng địa phương. Sử dụng xí nghiệp địa phương là nhiệm vụ quan trọng bước đầu ngăn ngừa giảm bớt nhập khẩu các thép gia công từ nước ngoài.

4 -Triển vọng lắp dựng: Hầu hết các cấu kiện thép hình có trọng lượng nhẹ, không cần đà giáo phụ khác, cho phép mặt bằng lắp dựng không cần diện tích bố trí cần cầu thường xuyên, tại đó yêu cầu tối thiểu cấu tạo hành tẩu tức thời.

5- Dễ dàng nâng cấp: Mục đích của Dự án mong muốn để người thuê dễ dàng cải tạo nâng cấp theo yêu cầu chất tải cũng như các thay đổi phát sinh khác nữa trong quá trình xây dựng và kỹ thuật thi công có thể bằng thủ công đối với kết cấu thép dễ dàng hơn bê tông.

6- Giảm tải xuống móng: Trọng lượng thường xuyên của sàn bê tông nặng đòi hỏi phải tăng cường móng, ở đây thép có trọng lượng nhẹ nên móng không cần tăng cường .

7- Độ chịu lửa tối thiểu: Hầu hết tấm thép hợp kim của Mỹ có độ chịu lửa khác nhau là 1,5 giờ cho bản sàn sườn tương đương sàn bê tông dày 110mm, là 2giờ cho bản sàn bằng

bê tông dầy 125mm không vỏ bọc chống cháy. Thép cán đã sử dụng tại vùng qui hoạch mới Malaysia .

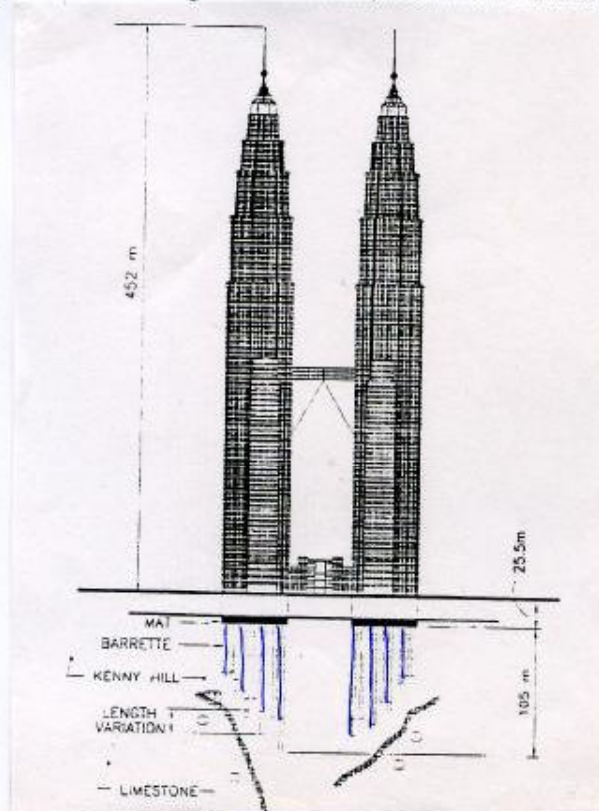
8- Dự kiến biến dạng : Chu vi mặt chính tháp gồm nhiều loại ban công: nửa hình tròn, hình tam giác . Điều chắc chắn sẽ xảy ra là hiện tượng biến dạng co ngót bê tông trong các dầm ban công nên kích thước các khe co giãn ở mặt chính cho kết cấu bê tông phải rộng hơn và dầy hơn kết cấu bằng thép hình.

4. TỔNG QUÁT VỀ HỆ KẾT CẤU

Bê tông đổ tại chỗ sử dụng cho tường tầng hầm, cọc ma sát Barrette, các đài hoặc bè cọc liên tục, kết cấu các tầng dưới mặt đất. Kết cấu thép được dùng cho các dầm điển hình nhịp lớn đỡ các bản sàn thép phủ bê tông phẳng mặt. Kết cấu bê tông dùng cho lõi trung tâm, mười sáu cột tại chu vi tháp chính đỡ các dầm giằng và mười hai cột có tiết diện bé hơn bao quanh tháp phụ đỡ các dầm giằng (tại cao độ nửa tháp chính mà tháp phụ gắn liền vào). Dầm dãn cứng tại ba tầng từ tầng 38 - 40 liên kết giữa lõi cứng và dầm giằng quanh chu vi tháp sẽ làm tăng thêm độ cứng cho hệ kết cấu lõi - cột một cách hiệu quả.

5. MÓNG

Móng tháp đôi nằm trong địa chất công trình vùng đồi Kenny gồm tầng đất cứng phủ trên bề mặt thêm đá vôi bị phong hoá, tại mặt cắt địa chất đi ngang qua tháp cho thấy chiều dày tầng đất này thay đổi thất thường từ 75m-180m, thiết kế chỉ tính toán cọc chịu ma sát đơn thuần.



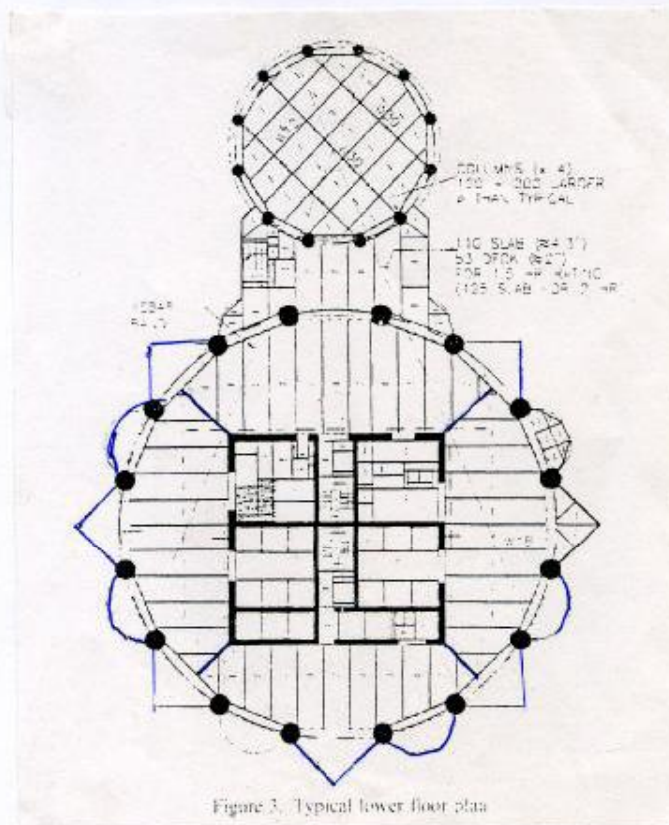
Nhằm tăng ma sát đất - cọc Barrette thi công tiến hành phun vữa ximăng áp lực cao trên suốt chiều dài hai má thành cọc Barrette. Bằng thí nghiệm nén tĩnh tỉ lệ thực sẽ xác định được giá trị lực ma sát thành cọc. Tùy theo mật độ của thêm đá vôi mà cọc có chiều dài, ngắn khác nhau, chỗ thêm đá càng dốc thì cọc dài hơn để tạo cho móng lún đều.

Bê tông cọc Barette sử dụng cường độ 45MPa. Đài bê tông cường độ 60 MPa, dầy 4,5m, diện tích 13 200 m², được thi công liên tục không có mạch ngừng trong suốt 44 đến 50 giờ. Nhiệt độ phát sinh trong bê tông khối lớn là tối thiểu do dùng nước lạnh để trộn bê tông, điều kỳ lạ xảy ra là chỉ sau một tháng, bê tông đã cứng như một đảo đá.

6. LỖI CỨNG

Các thang máy, thang bộ, và lồng thang cơ khí được bố trí trong mặt bằng lõi. Tháp phụ có tường phi kết cấu để tránh ảnh hưởng làm giảm hiệu quả của lõi cứng tháp chính, có chung một móng liền kề với móng tháp chính (Hình 3).

Bên trong mặt bằng lõi bố trí hai tường bê tông đặc nằm dọc theo hướng Bắc - Nam và một tường đặc khác đặt theo hướng Đông - Tây thẳng góc với hai tường hướng Bắc - Nam, tạo ra mạng sườn "Webs" trong lõi. Để tính toán lõi như "dầm con sơn", cần phải làm cho lõi hoàn toàn đủ cứng và hiệu quả. Kết quả là lõi chịu được gần nửa giá trị môment lật tại chân móng do lực gió gây ra. Tường lõi dầy, các góc tường cấu tạo cốt thép dầy đặc để chịu lực kéo (Hình 4). Mặt bằng lõi các tầng dưới hình vuông mỗi cạnh 23 m và theo chiều cao tháp kích thước mặt bằng lõi được giảm dần còn 19* 22 m. Riêng tường chu vi lõi có chiều dầy thay đổi 3 lần dọc suốt chiều cao: đoạn tường dưới dầy 750mm đoạn giữa 500mm và đoạn trên cùng dầy 350mm.



Còn các tường bên trong lõi tiết diện không đổi suốt dọc chiều cao tháp nhằm giảm độ phức tạp cho lồng thang máy và hệ thang bộ. Từ tầng 70 trở lên tại các góc tường của lõi cứng phải ngăn ngừa sàn văn phòng tròn dờ các cột chu vi bị chọc thủng "pinching". Trên toàn chiều cao tường cường độ bê tông thay đổi từ 80 MPa tại đoạn dưới, 60 MPa tại đoạn giữa và đoạn trên cùng sử dụng mác 40 MPa (Hình 5)

7. CỘT

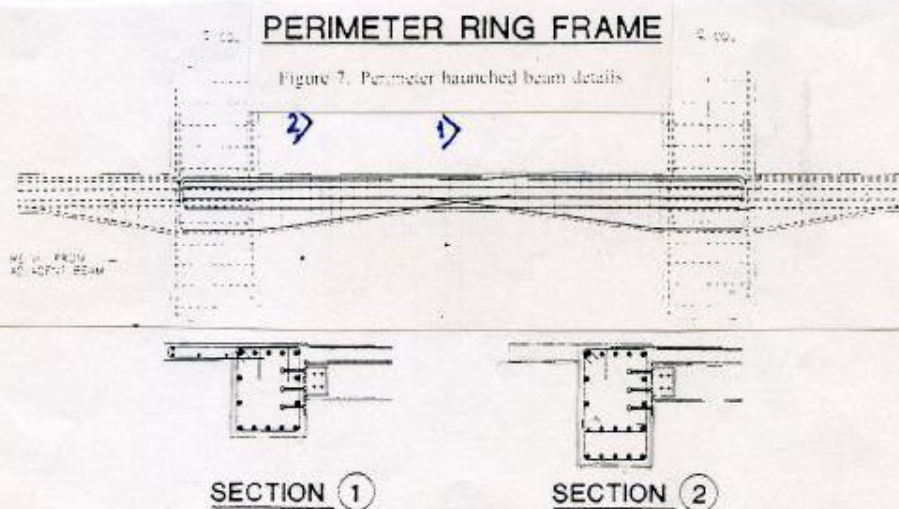
Cột sử dụng ván khuôn thép dùng lại nhiều lần và mở khuôn để quan sát tại hầu hết các mặt sàn sau khi hoàn thiện, đổ bù bê tông vào các lỗ trống, lỗ rỗ do sai sót kỹ thuật gây ra và sơn bả bề mặt rồi sơn hoàn thiện.

Tháp chính có mười sáu cột, đường kính cột thay đổi tối thiểu năm lần trên năm đoạn dọc theo chiều cao tháp từ đường kính 2,4m; 2,1; 1,8; 1,5 đến 1,2m. Cường độ bê tông thay đổi tương ứng từ 80; 60; đến 40 MPa, giá thành tăng thêm phụ theo mỗi lần thay đổi kích thước ván khuôn. Mười hai cột của tháp phụ có kích thước thay đổi ba lần từ đường kính 1,4; 1,2 đến 1m. Cường độ bê tông cột ở tháp phụ khác tháp chính do kế hoạch tiến độ đổ bê tông muộn hơn (Hình 5). Tại các tầng 60 ;73 và 82 chỗ sàn lùi vào không có dầm giằng biên chịu lực vì sử dụng cột xiên dài thông suốt ba tầng tháp (xem Hình 6). Một nửa tiết diện cột tròn nhô ra phía ngoài để neo giữ các sàn ban công sơn. Nửa phía trong thay đổi hình dạng từ từ hướng vào phía trong cộng thêm bê tông đổ đầy các tấm panel giằng cứng các cột tại mỗi tầng. Những cột tròn nghiêng sử dụng ván khuôn được hiệu chỉnh thêm tiết diện hai đầu cho đúng mặt sàn phẳng. Phía trên tầng 84 vì cột có độ nghiêng lớn nhất nên phải sử dụng thép hình làm kết cấu dầm giằng và cột, vì nếu là kết cấu bê tông sử dụng ván khuôn sẽ phức tạp và thi công chậm tiến độ.

8. DẦM

Các dầm giằng bê tông của khung trên chu vi tháp chính và tháp phụ có tiết diện thay đổi hình nêm (Hình 3 và 7). Chiều cao dầm tại mép cột là 1,15m, tại giữa nhịp vùng sàn ở tháp chính là 725mm hoặc là 775mm tại giữa nhịp vùng sàn chỗ có đường ống kỹ thuật chạy qua

Tiết diện dầm giằng thay đổi sẽ có lợi chống lại độ nghiêng các cột về một phía. làm tăng độ cứng thêm 34% so với dầm tiết diện đều có cùng chiều cao trung bình. Sự thay đổi khẩu độ giữa các sàn do tiết diện cột thay đổi và do mặt đứng lùi vào (bán kính xây dựng thu nhỏ hơn) tạo cho sàn phẳng nhịp giữa có dạng vòm sườn được sử dụng lại nhiều lần. Mác bê tông dầm giằng liên quan với mác bê tông cột sao cho thi công bơm và đổ đơn giản.



9. DẦM DÀN CỨNG

Dầm cứng bố trí ở tầng 38 đến 40 theo hướng Đông - Tây liên kết giữa các góc lõi cứng và các dầm giằng cột trên chu vi tháp. Gió tác động theo hướng Đông - Tây từ chính diện tháp phụ và tháp chính là diện tích lớn hơn. Tại giữa nhịp các dầm cứng ở ba tầng kế liền được liên kết lại với nhau bằng các trụ chống và hai giằng chéo tạo thành dầm dàn Vierendelle rất cứng chống móng bị lật, làm giảm đến tối thiểu độ chênh lệch lực ngang phân phối giữa lõi và hệ cột

10. CẦU TRÊN KHÔNG

Một cầu trên không bản sàn kép có nhịp dài 58,4m trên tầng thứ 41 và 42 cách mặt đất 170m tại phòng thang máy nối liền hai toà tháp qua hành lang trên không để dễ dàng lưu thông cắt ngang qua giữa các tầng tháp khác cao hơn, giảm vận hành cho thang máy, giảm kích thước phòng thang bộ bên dưới.

Vì cầu trên không ở trên độ cao rất cao nhịp rất dài, sử dụng kết cấu thép hình giảm được trọng lượng bản thân, thi công trên cao dễ dàng hơn. Mặc dầu kết cấu sơ đồ đơn giản một nhịp, song ngắm nhìn nó qua mắt thường rất khoẻ - đẹp. Dàn vòm hai khớp đỡ các dầm bản cầu liên tục tạo thành kết cấu mặt đường bộ, khớp nối dàn có chuyển dịch tối thiểu (chuyển dịch mới nối ở cả hai tháp) chịu lực tập trung của bản thân do đỉnh vòm bị giữ cố định. Rất nhiều vấn đề mà thiết kế phải quan tâm như **chuyển động ngang** phức tạp của mỗi tháp tác động lên khớp nối chân vòm và các cấu kiện cầu gây ra chuyển vị thẳng đứng ở giữa nhịp, do khí động học tác động phản lực ở chân vòm tại các ống thép đường kính 1,1m, do hiện tượng mồi, do phải đối phó với sự cố gối đỡ bị mất đột ngột, các chuyển vị do hiện tượng từ biến và co - giãn, do chuyển động của panel chính diện cầu trên không.

KẾT LUẬN

Tháp đôi Petronas ở trung tâm thành phố Kuala Lumpur ở Malaysia - thủ đô Kuala Lumpur với phương án được chọn sử dụng vật liệu hỗn hợp là rất thuận lợi phù hợp với kế hoạch thời gian xây dựng, kinh tế đầu tư. Hai tháp là công trình thanh mảnh tiêu biểu chịu được gió bão xoáy.

Bê tông cường độ cao dùng cho lõi, cột, dầm giằng trên toàn chu vi tháp, nó đem lại ưu việt cho kết cấu thẳng đứng vì có kích thước hợp lý và tiết kiệm diện tích sàn cho thuê. Bê tông cường độ cao sử dụng thiết bị tương đối nhẹ và đơn giản, yêu cầu lao động thủ công địa phương có tay nghề khéo léo, xử lý các mối nối có hình dạng phức tạp bằng các liên kết đơn giản. Bề mặt các tường lõi bằng bê tông có khả năng chịu lửa.

Dùng vật liệu bê tông làm kết cấu chống gió bão rất lợi vì độ cứng vốn có khi cấu kiện cầu tạo kích thước và khối lượng đủ lớn thì ảnh hưởng thuận lợi đến chu kỳ xây dựng dài hơn và độ chống rung vốn có ngay trong kết cấu có lợi làm giảm tác động gió giật.

Vật liệu thép hình sử dụng cho kết cấu bản sàn và dầm đỡ sàn được cung ứng nhanh xây dựng linh hoạt đạt ý tưởng thiết kế trong khi vẫn có thể cho phép người thuê mở cửa rộng hoặc thêm trang bị nội thất có tải tác động đặc biệt nhỏ nhất, cho tới phút chót vẫn cho phép thi công thay đổi vị trí các trụ chống. Kết cấu thép hình cho phép công xường hoá gia công cấu kiện ở địa phương và áp dụng phương pháp thi công đổi mới — không cần cầu, không cần bình cứu hoả, trong khi cấp chịu lửa sàn thép tương tự sàn bê tông dầy hoặc sàn phủ kín bê tông nhẹ.

Nghiên cứu mô hình máy tính và mô hình khí động học như gió tác động thật lên tháp đạt sự cân bằng lực gió thổi trong ống và so sánh với các tiêu chuẩn. Bê tông vốn có tính chống rung đã thoả mãn được các tiện nghi dễ chịu của khách hàng làm việc trong văn phòng, thoả mãn các lực ảnh hưởng toàn phần kết cấu bao gồm giữa các mô hình khác nhau, các thí nghiệm mô hình khí động học cầu trên không đã đạt kết quả là do của khối lượng chống rung tại mỗi ống thép của chân vòm đỡ cầu có làm giảm tác động gió xoáy, và tuổi thọ mỗi công trình. Mỗi cột ăngten trên đỉnh mái nhọn đều cấu tạo vỏ bọc tăng thêm độ chống rung. Các ống thép giằng được nối liền tạo ra độ chống rung vốn có giữa chúng. Diện mạo tháp đôi Petronas cho thấy rằng dưới sự kích động của gió bão thì gió động đối với dải có kích thước bề rộng xây dựng từ 55mm đến các chi tiết rộng 0,3m có ý nghĩa quan trọng.

Sử dụng vật liệu xây dựng hỗn hợp đồng thời chú ý đến các ảnh hưởng gió động lên tháp đôi Petronas mang lại thành công thực dụng 18. (septemb.-18-2006)

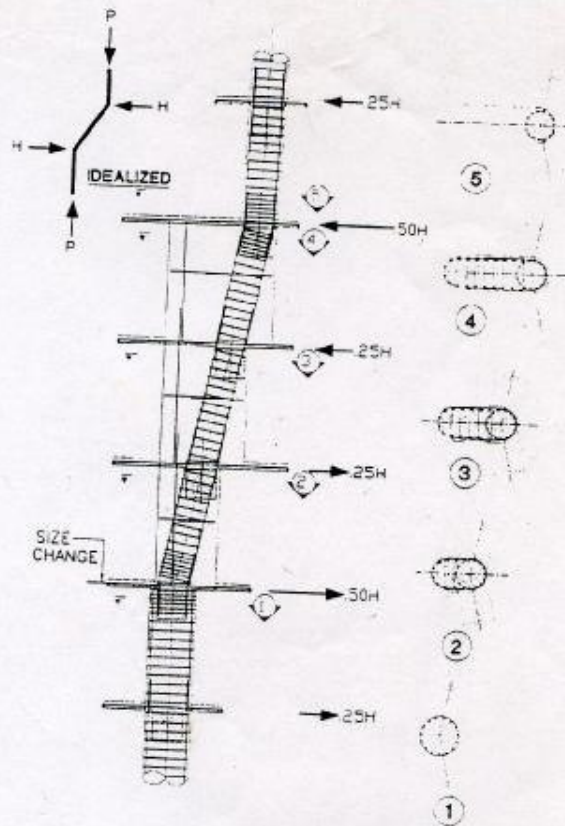
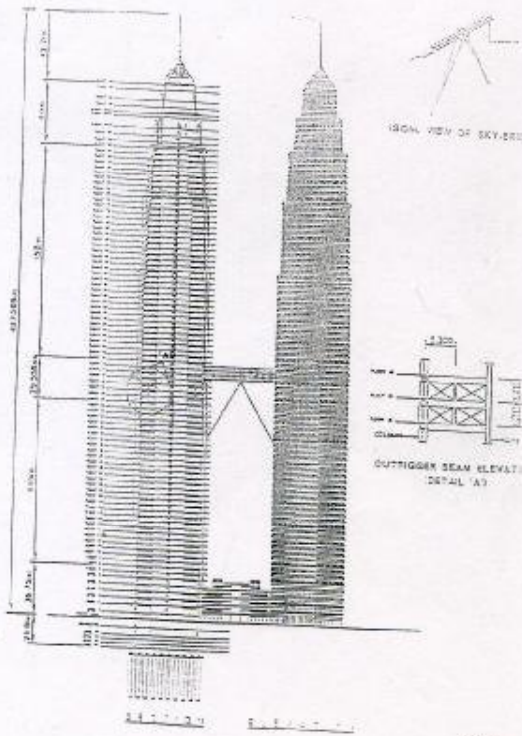


Figure 6. Sloping column at setbacks



FIGURE

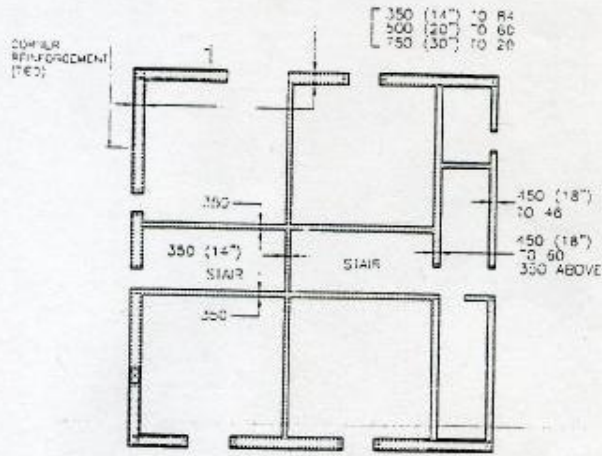


Figure 4. Core wall layout (lower floor shown)

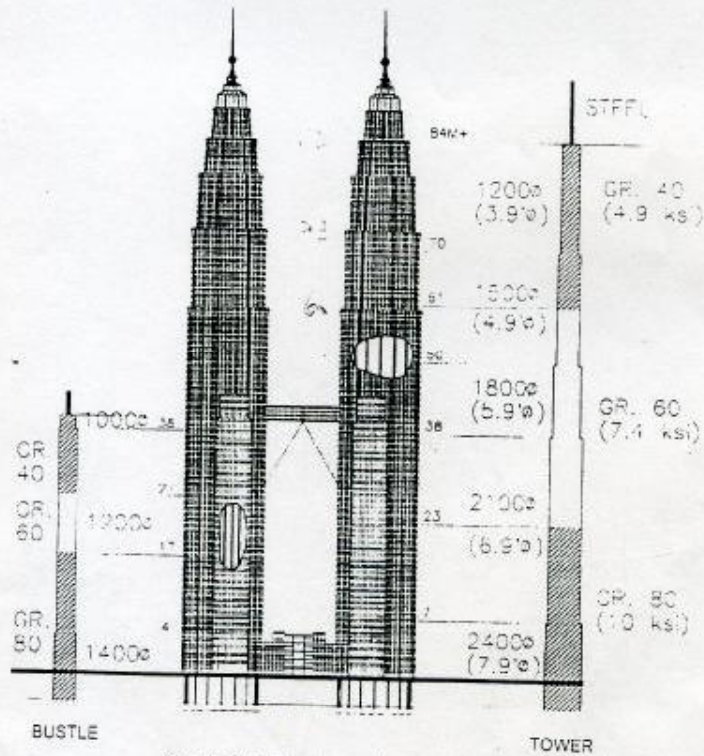


Figure 5. Column sizes and concrete grades