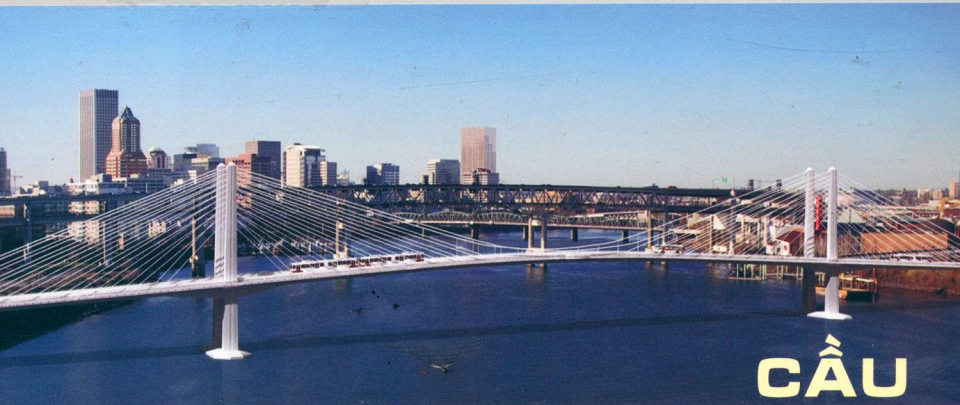


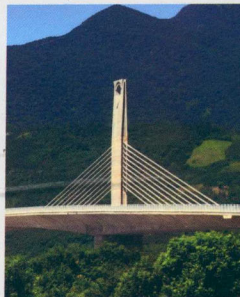
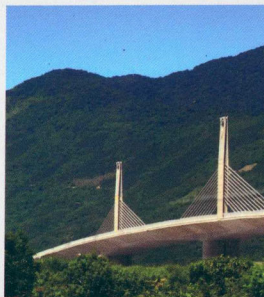
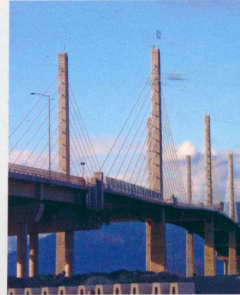
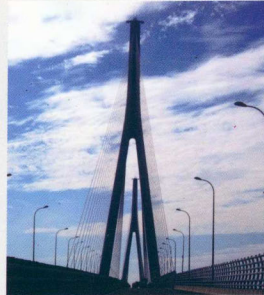
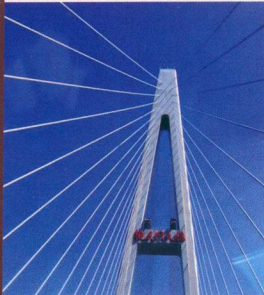
CK.0000070952

S. TRẦN VIỆT HÙNG - GS. TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG



CẦU

Extradosed



YÊN
EU



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

Chương 1

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẦU EXTRADOSED

GIỚI THIỆU CHUNG

Tính đến năm 2013, khi bản thảo cuốn sách này hoàn thành, khẩu độ lớn nhất của cầu bê tông cốt thép dự ứng lực ở nước ta thi công bằng công nghệ thi công hẫng đã đạt được là 150m ở cầu Hàm Luông (tỉnh Bến Tre). Tuy nhiên, để xây dựng được các cầu bê tông cốt thép có khẩu độ lớn hơn, công nghệ thi công cầu bê tông cốt thép dự ứng lực thông thường là khó đảm bảo và không kinh tế. Một trong các hướng giải quyết cầu vượt nhịp lớn là áp dụng công nghệ cầu dây gồm cầu dây văng và các cầu dây võng. Ở nước ta, một số dự án xây dựng cầu dây văng cũng đã được hoàn thành như cầu Mỹ Thuận (nhịp 350m, năm 2000), cầu Kiên (nhịp 200m, năm 2003), cầu Cần Thơ (nhịp 500m), cầu Rạch Miễu (nhịp 270m) và cầu Bình (260m), cầu Rào - 2 (120m), cầu Phú Mỹ (380m); cầu dây võng nhịp lớn như cầu Thuận Phước – Thành phố Đà Nẵng cũng đã được đưa vào khai thác.

Các nước trên thế giới đã chọn một hướng giải pháp khác cho những cầu nhịp trung bình, đó là áp dụng kết cấu cầu dầm - dây kết hợp, thường được gọi là cầu Extradosed. Về bản chất, đây là một dạng kết cấu nhịp sử dụng cáp dự ứng lực ra bên ngoài, cáp được đặt xa trọng tâm của dầm, thường đặt trên đỉnh trụ tháp và có độ lệch tâm lớn. Dạng kết cấu này đã làm giảm được chiều cao dầm chủ, tăng được chiều dài nhịp so với kết cấu dầm cùng chiều cao mặt cắt, có tính thẩm mỹ cao.

Kết cấu cầu Extradosed được áp dụng đầu tiên ở nước ta là cầu vượt thuộc dự án nút giao thông Ngã Tư Sở - thành phố Hà Nội, đây là công trình vượt nhịp không lớn (nhịp chính chỉ dài 45m). Cầu vượt Ngã Tư Sở đã được hoàn thành năm 2004 và trở thành một hình ảnh đẹp ở nút giao thông này. Trong thời gian gần đây, một số dự án đã và đang được thiết kế và xây dựng như cầu Đắkke ở tỉnh Kontum, cầu An Đông ở tỉnh Ninh Thuận, ...

Thuật ngữ tiếng Việt của dạng cầu này chưa được thống nhất, một số tác giả đã dùng tên “cầu dầm - cáp hỗn hợp” nhưng không miêu tả được đầy đủ bản chất loại cầu này. Trong phạm vi của cuốn sách này, chúng tôi xin được giữ nguyên tên gọi mà cả thế giới đều hiểu là “cầu Extradosed”.

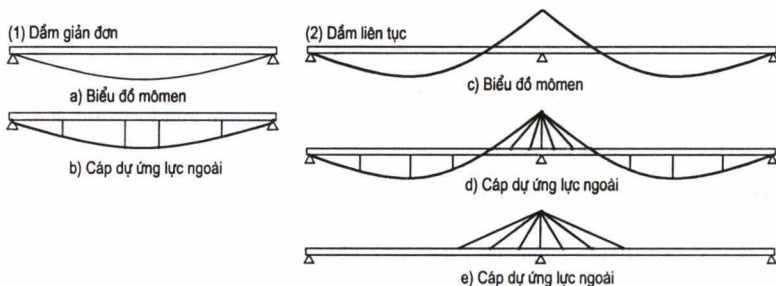
Cầu Extradosed là một dạng đặc biệt của cầu bê tông cốt thép dự ứng lực ngoài, trong đó cáp được đưa lên khỏi mặt cầu và liên kết với trụ tháp có chiều cao thấp

đặt ở đỉnh trụ. Đây là loại cầu do Jacques Mathivat đề xuất năm 1988. Đến ngày hôm nay đã có số lượng lớn cầu Extradosed đã và đang được xây dựng tại nhiều nước trên toàn thế giới. Ở nước ta, thiết kế và xây dựng loại cầu Extradosed còn rất mới mẻ, chưa có nhiều công trình được xây dựng, việc nghiên cứu ứng dụng loại cầu này còn rất khiêm tốn.

Tuy nhiên, cầu Extradosed được coi là một loại kết cấu kết hợp giữa hai loại kết cấu sử dụng trong cầu bê tông cốt thép dự ứng lực (BTCT DUL) nhịp liên tục thông thường và cầu dây văng. Hay nói cách khác, cầu Extradosed được coi là một giải pháp trung gian giữa cầu BTCT DUL khẩu độ lớn truyền thống và cầu dây văng nhằm giải quyết những hạn chế về khẩu độ của cầu BTCT DUL và những khó khăn của cầu dây văng về thiết kế, công nghệ thi công và công tác quản lý khai thác cũng như giá thành xây dựng.

Đối với cầu BTCT DUL ngoài thông thường, độ lệch tâm của cáp bị hạn chế trong phạm vi chiều cao tiết diện của dầm. Để tăng độ lệch tâm của cáp, chúng cần phải được bố trí ra ngoài phạm vi chiều cao tiết diện. Việc tăng độ lệch tâm của cáp căng ngoài sẽ cải thiện khả năng tạo dự ứng lực tại các khu vực dầm xuất hiện ứng suất kéo trong giai đoạn sử dụng. Trên hình 1.1 là cách bố trí cáp căng ngoài có độ lệch tâm lớn trong dầm đơn giản (hình 1.1a, b) và dầm liên tục (hình 1.1c, d, e).

Với các công nghệ thi công hẫng hiện đang được áp dụng phổ biến thì mômen dương tại giữa nhịp của dầm liên tục có trị số nhỏ hơn khá nhiều so với mômen âm trên gối. Do đó không cần phải cấu tạo cáp căng ngoài mà chỉ cần cáp căng trong cũng đủ giải quyết được ứng suất kéo tại khu vực này. Thêm nữa việc không bố trí cáp căng ngoài có độ lệch tâm lớn cho phần mômen dương sẽ giảm bớt sự phức tạp về kết cấu và công nghệ. Vì vậy, chỉ bố trí cáp lệch tâm lớn tại khu vực xuất hiện mômen âm trên gối, đó chính là triết lý trong thiết kế cầu Extradosed.



Hình 1.1. Khái niệm về các giải pháp bố trí cáp căng ngoài có độ lệch tâm lớn

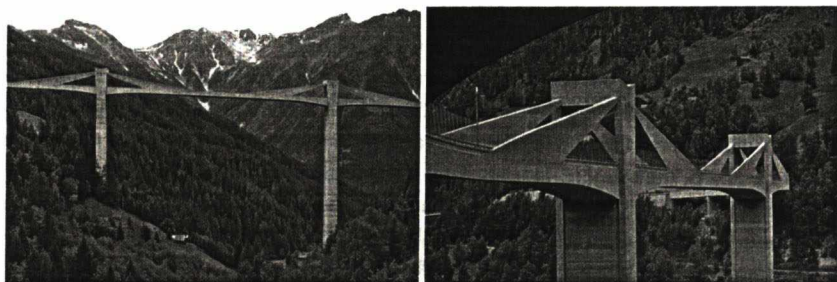
1.1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA CẦU EXTRADOSED

Jacques Mathivat là người đầu tiên đưa ra khái niệm dự ứng lực Extradosed (Mathivat, 1988). Ông đã trình bày khái niệm về cáp Extradosed như là các cáp dự ứng lực ngoài đặt ở ngoài và phía trên bản mặt cầu và được chuyển hướng bằng cột tháp. Đây cũng là một sự phát triển tự nhiên từ phương pháp thi công đúc hẫng với mong muốn có được một phương pháp thi công mà trong đó các bó cáp có thể thay thế được. Từ những năm 1980 tại Pháp, cáp của cầu dầm thi công theo phương pháp đúc hẫng được bố trí chủ yếu với hai nhóm cáp là: (1) các bó cáp dọc thớ trên bên trong phần hẫng và (2) các bó cáp ngoài được neo giữa hai trụ thông qua hai vách chuyển hướng tại các điểm trung gian trên nhịp. Hiệu quả của cáp dự ứng lực ngoài tỷ lệ thuận với cánh tay đòn giữa cáp và khối bê tông chịu nén. Trong cầu dầm, điều này sẽ làm gia tăng cánh tay đòn nhưng lại dẫn đến việc gia tăng tĩnh tải của bản đáy. Để tránh điều này, các bó cáp được đặt lên trên bản mặt cầu và được chuyển hướng bởi một cột để tạo ra ngẫu lực kéo của các bó cáp và đồng thời nén bê tông mặt cầu giữa hai đầu neo cáp ở dầm giống như trong trường hợp cầu dây văng.

Mathivat (1988) chỉ ra rằng các cầu kiểu tấm panel chứa cáp có thể được lấy cảm hứng từ việc mong muốn giảm tĩnh tải của dầm thi công theo phương pháp đúc hẫng. Bằng cách định vị các dây cáp dự ứng lực trong các tường phía trên mặt cầu, bản mặt cầu nén trước được tận dụng trong vùng chịu mô men âm ở đỉnh trụ dẫn đến một cấu trúc hiệu quả hơn so với dầm hộp thi công theo phương pháp đúc hẫng thông thường. Những cấu trúc dạng này mang một số nét tương đồng với các cầu Extradosed, nhưng chúng khác nhau ở cách thức thể hiện và ngay chính trong độ cứng của kết cấu, và các bó cáp rất khó để có thể thay thế từ khi chúng được bọc trong một bức tường bê tông. Tuy nhiên, sự cân xứng của loại cầu này đã có một tác động đáng kể đến sự phát triển của cầu Extradosed.

Hiện nay vẫn có hai xu hướng về nguồn gốc sự phát triển các cầu dự ứng lực Extradosed. Xu hướng thứ nhất là khái niệm của Christian Menn, người đã thiết kế cầu Ganter ở Thụy Sĩ (xem hình 1.2). Cầu Ganter được hoàn thành vào năm 1980 là một cầu dầm dạng tấm panel cáp với chiều dài nhịp chính 174m nằm trên tuyến đường băng qua thung lũng sâu ở độ cao lên đến 140m. Cây cầu này được thiết kế bởi Christian Menn, người đã thiết kế nhiều cây cầu dự ứng lực thanh mảnh ở Thụy Sĩ. Tuyến đường chạy song song với thung lũng ở hai bên, cầu bắc qua địa hình nghiêng góc, đòi hỏi phải thiết kế bán kính cong ở cả hai đầu cầu. Cây cầu được thiết kế với hai yêu cầu đặc biệt, trụ cứng để chống lại vận tốc gió lớn trong thung lũng và với một bề rộng cầu rất hẹp nhưng chiều dài nhịp tối đa. Hình dáng cây cầu đã được thực hiện với sự hài hòa về mặt thẩm mỹ, trong đó một dầm hộp thi công theo phương pháp đúc hẫng sẽ mang lại tính khả thi về mặt kỹ thuật. Tuy

nhiên, điều này không giải thích được lý do tại sao Menn lại bọc cáp bằng bức tường bê tông: các bức tường không được mở rộng trong phạm vi bán kính cong của cầu và về mặt trực quan các bó cáp cũng có tính chất tương tự. Tại thời điểm đó bố trí hợp lý các cáp liên quan đến đổi mới kỹ thuật, tuy nhiên, kết cấu đã được ngưỡng mộ bởi cộng đồng kỹ sư bằng vẻ đẹp và sự hài hòa của cây cầu đối với cảnh quan xung quanh (Virlogeux, 1999).



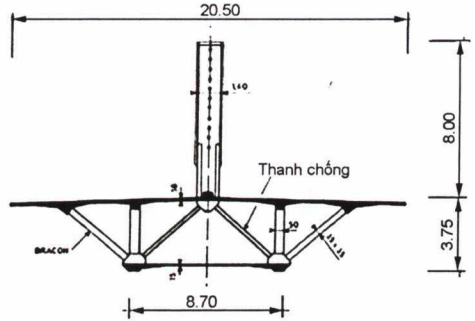
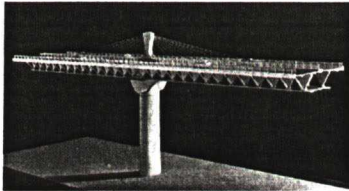
Hình 1.2. Cầu Ganter ở Thuy Sĩ

Với xu hướng thứ hai là các khái niệm giống như đề xuất của Mathivat, người đã đề xuất một giải pháp cho cầu cạn Arret Darré ở Pháp (xem hình 1.3). Các cáp dự ứng lực đặt trong bản trên của cầu được thay thế bằng cáp ngoài đặt trên trụ tháp kích thước nhỏ đặt phía trên kết cấu nhịp. Dự ứng lực dọc kiểu Extradosed với bản bụng dầm được làm mỏng giúp tiết kiệm được 30% khối lượng vật liệu so với cầu dầm hộp đúc hẫng thông thường. Mathivat đề xuất thay thế các bó cáp trong ở bản cánh trên dầm hộp bằng các cáp dự ứng lực ngoài trên bề mặt dầm, thiết bị chuyển hướng trên trụ cột còn sơ khai và các khối neo bên trong dầm hộp và Ông gọi đó là “cáp Extradosed”. Độ lệch tâm thấp của cáp trên trụ cho phép chúng được tạo ứng suất giống như cáp dự ứng lực truyền thống, vai trò đầu tiên là tạo ra dự ứng lực dọc, hơn nữa nó còn giúp giảm ứng suất môi. Virlogeux (1999) giải thích rằng khái niệm này một phần được thúc đẩy bởi “các quy định tiêu chuẩn về biến dạng” để sử dụng các cáp văng hiệu quả hơn, từ đó ứng suất cho phép là $0.65f_{pu}$ được sử dụng cho thiết kế thay vì giá trị $0.45f_{pu}$ như ở cầu dây văng thông thường (f_{pu} là cường độ giới hạn của cáp dự ứng lực). Tuy nhiên, đề nghị này đã không được lựa chọn để thi công mà thay vào đó là các kết cấu đúc hẫng thông thường dự ứng lực căng sau.

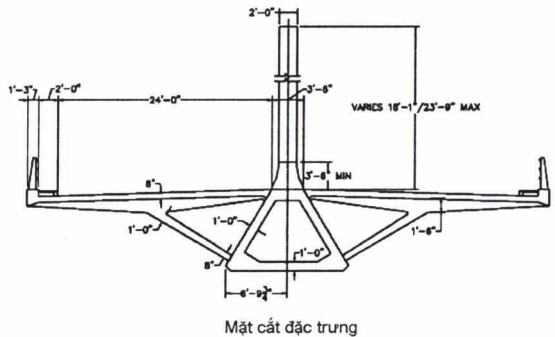
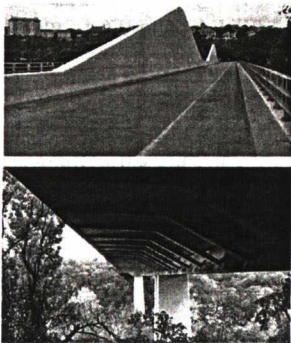
Tuy nhiên, tranh luận liên quan đến nguồn gốc của cây cầu đã được giải quyết. Menn đã biết các ý tưởng của Mathivat về cầu Extradosed, bởi vì cả hai kỹ sư đã phản ánh các xu hướng và cách tiếp cận của các nước trong các đề xuất của chính mình. Cầu Ganter từng là nguồn cảm hứng cho việc xây dựng các cây cầu tương tự khác, chẳng hạn như cầu Barton Greek ở Hoa Kỳ, hoàn thành 1987 (Gee, 1991) và

cầu Papagayo ở Mexico hoàn thành 1991 (Fernandez, 1999), được coi như cầu có cáp đặt trong tường bê tông (Fin Back bridge) và cầu Socorridos (Bồ Đào Nha, 1993 (Reis & Pereira, 1994), được xác định là một cầu cáp Panel. Một số nhược điểm như việc không thể thay thế dây cáp và tăng các chi phí bổ sung cho các tường bê tông, đã không cho phép sử dụng rộng rãi. Mặt khác, đề nghị của Mathivat lấy cảm hứng từ các kỹ sư Nhật Bản, người đã xây dựng cầu Blueway Odawara năm 1994 (hình 1.4).

Virlogeux (1999) cho rằng các tường bê tông phẳng chứa cáp có hai nhược điểm: các dây cáp không thể thay thế và có một chi phí để xây dựng các bức tường bê tông. Các nhà thiết kế cầu Barton Creek đã đưa ra các biện pháp để giảm chi phí của các tường bê tông đơn và có thể hiểu rằng các chi phí bổ sung của hệ thống bảo vệ cho cáp dây văng có thể đã vượt quá chi phí khi thi công các tường bê tông. Tuy nhiên, khi có các tường bê tông sẽ làm tăng thêm tĩnh tải của cầu, nó đem lại lợi ích với các nhịp ngắn hơn. Về mặt thẩm mỹ, cáp văng của cầu Extradosed đưa ra một diện mạo nhẹ hơn so với cầu có cáp đặt trong tường bê tông.



Hình 1.3. Mô hình cầu Arret Darré ở Pháp (Virlogeux, 1999)

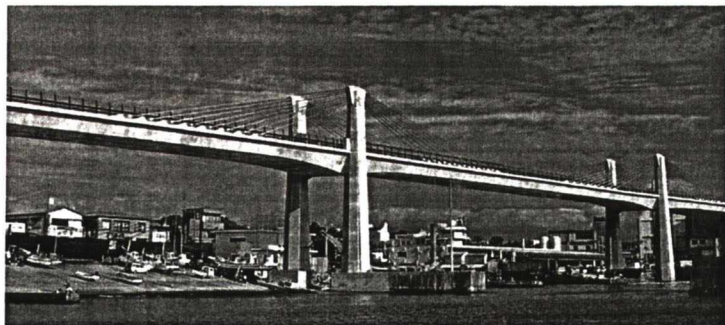


Hình 1.4. Mô hình cầu Barton Creek ở Hoa Kỳ

Kasuga (2006) là người đầu tiên áp dụng khái niệm của Mathivat và cầu Extradosed đầu tiên được xây dựng là cầu Odawara Blueway (xem hình 1.5). Việc xây dựng được hoàn thành vào năm 1994. Kasuga cho rằng thiết kế của ông thực hiện theo lý thuyết của Mathivat mà ở đó chiều cao tháp của cầu Extradosed nên được lấy bằng một nửa chiều cao tháp của cầu dây văng khi cùng một chiều dài nhịp tương đương (Ogawa và Kasuga, 1998), nhưng Mathivat lại đề nghị nên sử dụng một chiều cao tháp chỉ khoảng một phần ba so với cầu dây văng (Mathivat 1988). Bố trí cáp trong một mặt phẳng được đề xuất cho các cầu cạn Arret - Darre là nhẹ hơn so với hai mặt phẳng trên cầu Odawara Blueway. Tuy nhiên, các tháp của cầu Odawara Blueway, như thể hiện trong hình 1.5, được kết hợp đồng nhất với các cột trụ tại vị trí bản mặt cầu, trong khi đó kết cấu phần trên của cầu Arret - Darre lại tựa trên một cột trụ tròn quá lớn, nên nó chiếm dụng gần hết tầm nhìn trên trục dọc cầu. Cầu Odawara Blueway gồm 3 nhịp với sơ đồ bố trí nhịp cân bằng (74+122+74)m, cầu có tiết diện mặt cắt là hình hộp kép hai ngăn với chiều cao thay đổi từ 3.5m ở trên trụ đến 2.2m ở giữa nhịp, tương ứng với 1/35 và 1/55 chiều dài nhịp chính. Trụ tháp bằng bê tông cốt thép cao 10.7m tính từ mặt cầu và được liên kết cứng với trụ cầu. Chiều cao trụ tháp được thiết kế xấp xỉ bằng 1/12 chiều dài nhịp chính. Hệ dầm chủ cũng được liên kết cứng với trụ cầu giống như dạng cầu khung, làm tăng thêm độ cứng của toàn cầu và giảm sự biến thiên ứng suất trong cáp văng do hoạt tải gây ra. Hệ dây treo được bố trí hai mặt phẳng dây, mỗi mặt phẳng dây gồm 8 cáp văng ở mỗi phía của dầm hộp, được luồn qua kết cấu yên ngựa đặt trên đỉnh trụ và được liên kết với hệ dầm chủ. Sơ đồ bố trí cáp văng theo hình rẽ quạt với khoảng cách giữa các dây là 3.75m. Đây cũng là chiếc cầu BTCT dự ứng lực ngoài đầu tiên ở Nhật Bản sử dụng kết cấu yên ngựa trên đỉnh trụ tháp, do đó thi công lắp đặt và căng kéo cáp văng rất dễ dàng. Xây dựng cầu này bằng phương pháp lắp hẫng cân bằng. Sự thay đổi ứng suất do hoạt tải giảm xuống rõ rệt và chỉ bằng 1/4 sự biến thiên ứng suất trong cầu dây văng. Do vậy cường độ chịu kéo thiết kế cho phép của cáp văng được lấy bằng $0.6 f_{pu}$ giống như thiết kế cầu BTCT dự ứng lực truyền thống.

Komiya (1999) đã thực hiện một số các phân tích về cầu Extradosed có sơ đồ nhịp 74 - 122 - 74 m, chiều cao nhịp ở trụ là L/35 và ở giữa nhịp là L/55 (L là chiều dài nhịp). Các kích thước này cùng sơ đồ nhịp với cầu Odawara Blueway ở Nhật Bản (xem hình 1.5). Các thông số được thay đổi gồm chiều cao tháp, vị trí neo cáp, độ cứng của dầm và độ cứng của tháp cầu. Nghiên cứu này đã chỉ ra các lý do tại sao cầu Extradosed có thể phù hợp với cầu đúc hẫng hoặc cầu dây văng như:

- Chiều cao dầm khoảng 2 – 4m, bằng khoảng một nửa cầu đúc hẫng và hai lần cầu dây văng, tốt cho việc xây dựng cáp dự ứng lực ngoài;



Hình 1.5. Cầu Odawara Blueway ở Nhật Bản

- Độ cứng dầm cầu cho phép kết cấu liên tục nhiều nhịp và thích hợp với tải trọng đường sắt ở vị trí độ võng giới hạn phải được tuân theo;

- Sự hiện diện của các tháp có thể tạo ra một kết cấu mang tính biểu tượng so với một cầu dầm thông thường;

- Cáp Extradosed có thể dùng neo thông thường thay vì các neo đặt tiền với độ bền mỏi cao như được sử dụng trong các cầu dây văng. Các cáp Extradosed ít nhạy cảm với dao động, và chúng không cần phải phân bố lại lực trong khi xây dựng. Komiya (1999) kết luận rằng, cáp Extradosed là kinh tế hơn cáp cầu dây văng thông thường và dẫn tới việc thi công tốt hơn.

- Các cầu Extradosed có giá thành thấp hơn cầu dây văng nhưng tốn kém hơn cầu đúc hẫng, cầu dầm. Cầu Extradosed có thể kinh tế hơn cầu dầm trong trường hợp giới hạn chiều cao dầm do những khống chế về cao độ, tầm nhìn, hoặc trong trường hợp nơi đất yếu cần phải giảm trọng lượng bản thân kết cấu.

Chio (2000) cũng đã thực hiện một nghiên cứu về kích thước hình học đối với loại cầu này. Các kết quả nghiên cứu của Chio về trạng thái kết cấu của dự ứng lực Extradosed trong cả quá trình xây dựng và khai thác đã đưa đến một số nhận xét quan trọng về thiết kế như: cáp đầu tiên nên được neo trong phạm vi giữa 0.18 đến 0.25 nhịp chính tính từ tháp cầu, đây là phạm vi hiệu quả nhất đối với các cáp gần tháp cầu. Dầm cầu nên được phân chia với một khoảng tỷ lệ chiều cao dầm $L/30$ ở đỉnh trụ và $L/45$ ở giữa nhịp để giữ cho tất cả các phạm vi ứng suất do hoạt tải trong các cáp dưới 80 MPa, đây là giới hạn cho neo dự ứng lực thông thường. Chio (2002) đề xuất ý tưởng có thể đưa dự ứng lực Extradosed vào trong các kết cấu cầu dây bê tông nhịp lớn (khoảng 200 m), cùng với nó là các cáp tạm phục vụ cho thi công đúc hẫng dầm có chiều cao không đổi với chiều dài nhịp trung bình (khoảng 80m), kết quả là một dạng lai ghép hình thành mà ở đó các cáp văng tạm thời được lưu trữ vĩnh viễn.

Santos (2006) đã tiến hành một phân tích các tham số trên một cây cầu văng có nhịp chính 150 m với các gối đơn giản ở trụ cầu. Santos đã chú ý vào ảnh hưởng của chiều cao tháp, chiều cao dầm và chiều dài của nhịp bên trên tổng diện tích cáp văng, sự thay đổi ứng suất trong các cáp, và mô men uốn trong dầm. Với các tỷ số nhịp so với chiều cao tháp là 15, 10 và 5, Santos cũng đã tìm ra tỷ số giữa chiều dài nhịp với chiều cao dầm tương ứng là 37, 34 và 27. Đây là các giá trị cần thiết để giữ phạm vi ứng suất do hoạt tải dưới 50 MPa. Tuy nhiên, ông không xét một cách rõ ràng các lực trong các dầm ở từng giai đoạn thi công và giả định rằng tĩnh tải được thêm vào ở từng giai đoạn thi công hằng, đó là không thực tế trong xây dựng cầu. Do những đơn giản hóa như vậy, một số kết luận của ông vẫn còn nhiều hạn chế.

Sau khi cầu Odawara Blueway được hoàn thành, một loạt các cầu khác cũng được xây dựng theo dạng cầu Extradosed, như cầu Yashiro North và cầu Yashiro South được hoàn thành vào năm 1995. Dầm chủ của hai cầu này bằng BTCT DUL có chiều cao không đổi 2,5 m. Chiều cao trụ tháp của hai cầu là 10 m và 12 m tương ứng với khẩu độ nhịp chính là 90m và 105m. Cầu được tạo ứng suất trước bằng công nghệ dự ứng lực ngoài. Điểm đặc biệt là các cầu này được sử dụng cho đường sắt cao tốc (Shinkansen) ở Nhật Bản, do vậy độ võng của cầu được kiểm tra rất nghiêm ngặt. Trong năm 1998, liên tiếp nhiều cầu Extradosed được xây dựng

và hoàn thành ở Nhật Bản với khẩu độ trung bình từ 100~150m. Đặc biệt trong đó có cầu Tsukuhara với khẩu độ nhịp chính là 180m và trụ tháp có hình chữ V với chiều cao 16m. Tại thời điểm đó cầu Tsukuhara đạt kỷ lục về khẩu độ đối với loại cầu Extradosed (xem hình 1.6). Và theo quan điểm của giáo sư Michael Virlogeux người Pháp thì đây là khẩu độ tối ưu nhất đối với cầu có kết cấu kiểu này.

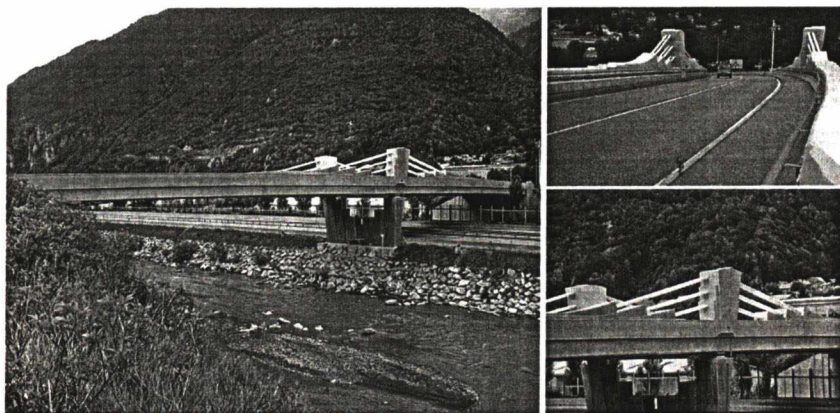


Hình 1.6. Cầu Tsukuhara ở Nhật Bản

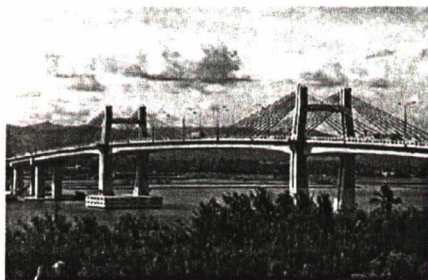
Ở Pháp, cầu Extradosed đầu tiên được xây dựng với tỉ lệ nhỏ hơn các cầu cùng loại ở Nhật Bản như chiều cao kết cấu thấp. Cầu Saint - Remyde - Maurienne (xem hình 1.7) hoàn thành năm 1996 và nhịp dài nhất là 54 m (Grisson và Tonello, 1997).

Ở Philippine đã xây dựng cầu Extradosed (cầu Mactan) đầu tiên do các chuyên gia và kỹ sư Nhật Bản giúp đỡ vào năm 1999 (xem hình 1.6). Cầu có sơ đồ bố trí nhịp cân bằng là (111,5+185+111.5) m với chiều rộng mặt cầu 18m. Tiết diện mặt cắt là hình hộp có chiều cao trên trụ 5.1m và chiều cao ở giữa nhịp 3.3m. Cầu được

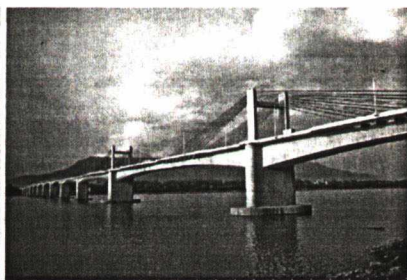
bố trí hai mặt phẳng dầm ở hai bên sườn dầm, các cáp văng được neo vào trụ tháp có chiều cao 18.2m. Trụ tháp được liên kết cứng với trụ và dầm chủ tạo thành khung ngàm cứng, do vậy trụ tháp có độ cứng theo phương dọc cầu lớn, giảm được sự thay đổi ứng suất trong cáp văng do hoạt tải.



Hình 1.7. Cầu Saint - Remyde - Maurienne ở Pháp (nguồn:<http://en. structurae. de>)



Hình 1.8. Cầu Mactan ở Philippine



Hình 1.9. Cầu Pakse ở Lào

Đến năm 2000 chiếc cầu Extradosed đầu tiên bắc qua sông Mêkong ở Lào cũng được xây dựng dưới sự giúp đỡ của các chuyên gia Nhật Bản (xem hình 1.9). Đây là chiếc cầu thứ ba bắc qua sông Mêkong và cầu được mang tên là cầu Pakse hay còn được gọi là cầu hữu nghị Nhật – Lào. Cầu gồm 15 nhịp bằng BTCT DƯỠ với chiều dài nhịp chính 143m, bao gồm bốn khung cầu cứng liên tục trong đó có ba nhịp bằng cầu Extradosed, các khung cầu cứng này được liên kết lại với nhau bằng các khớp nối ở giữa nhịp. Sơ đồ bố trí nhịp ($70+9@102+123+143+91.5+34.5$)m, trong đó từ nhịp thứ 10 đến nhịp thứ 12 được tăng cường thêm hệ dây treo. Kết cấu