

PHÂN TÍCH KẾT CẤU THÁP CỐNG LẮP GHEP ỨNG SUẤT TRƯỚC - ÁP DỤNG CHO THÁP CỐNG VĨNH TRINH

Hồ Sỹ Tâm

Trường Đại học Thủy Lợi

Tóm tắt: Do yêu cầu khai thác và chống lũ nên việc thi công tháp cống đổ liền khối truyền thống khi sửa chữa, nâng cấp cống dưới đập gặp nhiều khó khăn. Giải pháp sử dụng tháp cống dạng đúc sẵn, lắp ghép ứng suất trước căng sau sẽ giải quyết được vấn đề này. Xuất phát từ điều kiện làm việc của cống lấy nước hồ chứa Vĩnh Trinh, bài báo giới thiệu kết quả tính toán và so sánh trạng thái ứng suất biến dạng giữa hình thức tháp cống lắp ghép và tháp cống liền khối truyền thống. Kết quả tính toán cho thấy việc mô phỏng ứng suất biến dạng trong điều kiện làm việc bình thường đã thành công. Cống lắp ghép ứng suất trước căng sau thể hiện nhiều ưu điểm về phân bố ứng suất và chuyển vị, đặc biệt là hầu như không có ứng suất kéo, giúp phát huy tối đa hiệu quả làm việc của vật liệu bê tông.

Từ khoá: Cống lấy nước, phân tích kết cấu, kết cấu lắp ghép ứng suất trước.

Summary: Due to requirements of flood prevention and operation, traditional continuous culvert operation tower using for remedy reveal difficulties. Pre-stress precast culvert will solve these limitations. According to working conditions of the culvert of Vinh Trinh reservoir, Quang Nam province, this article shows the results and comparisons of calculated results of stress-strain analysis of pre-stress precast culvert and traditional continuous culvert. It is shown the successful of simulation process. Pre-stress precast culvert has many advantages about stress-strain and displacement distribution, especially almost culvert tower body has no tension stress. This takes advantage of compress ability of concrete material.

Keywords: Culvert, structure analysis, Vinh Trinh reservoir, pre-stress precast culvert.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam hiện có khoảng gần 7000 hồ chứa đang được khai thác sử dụng (Tổng cục Thủy lợi, 2012), phần lớn số đó được xây dựng từ trước những năm 60÷80 của thế kỷ XX và thi công theo phương pháp thủ công. Một số lượng lớn các hồ này qua thời gian làm việc đã xuống cấp nghiêm trọng, biểu hiện hư hỏng ở đập, tràn, và cống. Qua khảo sát khoảng 40 hồ chứa ở các tỉnh Kon Tum, Bắc Giang, Quảng Nam, Nghệ An trong dự án Sửa chữa và nâng cao an toàn đập (WB8) cho thấy tỷ lệ cống lấy nước hư hỏng, xuống cấp,

cần được nâng cấp sửa chữa khoảng 40 ÷ 50%. Các biểu hiện hư hỏng gồm: cống nhỏ nhưng rò rỉ nhiều nên không còn khả năng sửa chữa, phục hồi; tháp cống và cầu công tác gãy đổ, nứt nẻ; hệ thống điều tiết nước lạc hậu, không khít nước.... Một số công trình đã sửa chữa nâng cấp trong thời gian qua cũng cho thấy hiện trạng các cống hoặc là đã xuống cấp nghiêm trọng, hoặc có kích thước quá nhỏ không thể sửa chữa mà bắt buộc phải làm mới (ví dụ: cống Vĩnh Trinh, cống Yên Đồng, cống Đồng Suong...). Tuy nhiên việc xây lại cống mới đặc biệt là tháp van cống trong điều kiện phải đảm bảo an toàn về mặt chống lũ và cấp nước thì gặp nhiều khó khăn, như: thời gian thi công ngắn trong khoảng thời gian cuối mùa kiệt đến đầu mùa mưa để

Ngày nhận bài: 27/3/2017

Ngày thông qua phản biện: 17/4/2017

Ngày duyệt đăng: 15/5/2017

đảm bảo kéo dài thời gian cấp nước, đập đập vượt lũ và tích nước phục vụ tưới cho năm sau; phương pháp thi công truyền thống đối với tháp công là phân chia khoảnh đổ theo phương đứng, chờ cho khoảnh đổ bê tông dưới đủ cường độ mới thi công khoảnh đổ bên trên làm thời gian thi công kéo dài... Do đó, việc áp dụng giải pháp kết cấu đúc sẵn lắp ghép ứng suất trước cho tháp công sẽ giúp giảm thiểu thời gian thi công tháp công, đáp ứng yêu cầu về tiến độ thi công (Trần Duy Quân & nnk, 2015).



Hình 1. Hư hỏng công Vĩnh Trinh

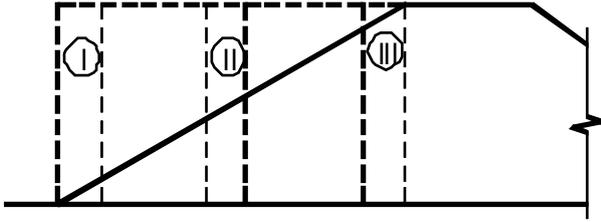
Giải pháp ứng suất trước dùng cho các kết cấu đơn lẻ như dầm cầu, tấm sàn đúc sẵn hoặc kết cấu sàn BTCT đổ tại chỗ đã được sử dụng rộng rãi trong xây dựng dân dụng và giao thông (Nguyễn Tiến Chương, 2014). Đối với kết cấu tháp công, việc tính toán ứng suất trước đặt vào cáp neo xuyên qua các kết cấu đúc sẵn trong điều kiện chịu áp lực đất xô ngang đã được đề cập đến trong nghiên cứu trước đây (Trần Duy Quân & nnk, 2015). Trong bài báo này, tác giả sẽ đề xuất các bước tính toán và áp dụng tính toán trạng thái ứng suất biến dạng tháp công hồ chứa Vĩnh Trinh – tỉnh Quảng Nam theo phương pháp PTHH khi sử dụng kết cấu lắp ghép ứng suất trước căng sau. Kết quả tính toán được phân tích, so sánh với kết quả tính toán

của tháp công bê tông cốt thép đổ liền khối truyền thống có cùng kích thước và điều kiện làm việc.

2. GIỚI THIỆU CÔNG LẮY NƯỚC - HỒ CHỨA VĨNH TRINH

Công trình thủy lợi Vĩnh Trinh được người Pháp xây dựng từ năm 1936-1939. Năm 1979 hồ được tôn cao, mở rộng và hoàn thành vào năm 1983. Công trình có nhiệm vụ tưới cho 1500ha đất canh tác của các xã Duy Châu, Duy Hoà và Duy Trinh huyện Duy Xuyên, tỉnh Quảng Nam. Ngoài ra hồ còn có một số nhiệm vụ khác (Công ty CPTVXD Ninh Bình, 2007). Sau thời gian dài khai thác, cụm công trình đầu mối hồ chứa nước Vĩnh Trinh xuống cấp nghiêm trọng, trong đó cả hai công lấy nước bị hư hỏng nặng không đáp ứng yêu cầu làm việc an toàn: mặt trong của công bị xâm thực, tróc rỗ để lộ cốt liệu thô và cốt thép; nhiều vị trí bị rò rỉ nước từ ngoài thân công vào trong (hình 2). Yêu cầu đặt ra là phải làm lại hai công mới nhưng vẫn phải đảm bảo cấp nước đến cuối tháng 8 và sẵn sàng ngăn lũ sớm vào giữa tháng 9. Với yêu cầu này, tư vấn thiết kế đề xuất không xây dựng tháp công đối với công đập phụ vì thời gian thi công không đảm bảo, đối với công đập chính thì tận dụng ngọn đồi bên vai phải làm đê quay thi công để thi công tháp công. Giải pháp này dẫn đến công đập phụ không có tháp vận hành còn công đập chính có khối lượng thi công đào đá và đắp đất rất lớn, tốn kém.

Để hạn chế những nhược điểm của giải pháp công truyền thống như nói trên, giải pháp sử dụng tháp công đúc sẵn lắp ghép dự ứng lực là giải pháp thay thế cần cân nhắc. Vì vậy, bài báo này giới thiệu quy trình và kết quả tính toán trạng thái ứng suất biến dạng kết cấu tháp công Vĩnh Trinh khi sử dụng giải pháp đúc sẵn lắp ghép dự ứng lực.



Hình 2: Sơ đồ bố trí tháp van cổng ngầm dưới thân đập

3. TÍNH TOÁN SƠ BỘ CÁC THÔNG SỐ CỦA THÁP CỔNG

3.1. Lựa chọn vị trí bố trí tháp van cổng

Đối với công ngầm, tùy vào yêu cầu nhiệm vụ, chế độ thủy lực, điều kiện vận hành mà có thể chọn 1 trong 3 vị trí như hình 2 (Nguyễn Chiến và nnk, 2013). Để tận dụng mái đập thượng lưu làm đê quây trong quá trình thi công, hồ đang tích nước thì phương án vị trí III là khả dĩ nhất (Trần Duy Quân & nnk, 2015).

3.2. Các giả thiết trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng một số giả thiết sau:

Hình thức kết cấu là kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước không toàn phần nghĩa là ngoài cốt thép căng còn có các thanh thép chịu lực khác. Quá trình chịu lực của mỗi mô đun sẽ có 3 giai đoạn chính: giai đoạn 1 – đúc trong nhà máy, lưu kho, vận chuyển ra công trường, cầu lắp; giai đoạn 2 – lắp ghép, tạo ứng suất và xử lý tiếp giáp giữa các mô đun công; giai đoạn 3 – tháp van công làm việc. Nghiên cứu này quan tâm đến giai đoạn làm việc của công;

Ứng suất trước đưa vào kết cấu có tác dụng tạo lực để liên kết các mô đun tháp van công trong giai đoạn tháp van công làm việc;

Tác giả mới chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng của phần tháp van lắp ghép ứng suất trước. Đáy của phần tháp van và ứng xử nền chưa được xét đến;

Yêu cầu đối với quá trình tính toán lực kéo căng là toàn bộ tháp van công luôn chịu nén. Giả thiết này nhìn chung là phù hợp với kết cấu ứng suất trước và kết cấu công trình thủy luôn ngập trong nước. Việc không chế không phát sinh ứng suất kéo trong tháp van công, làm cho toàn bộ kết cấu chịu ứng suất nén vừa góp phần liên kết giữ các mô đun giúp giữ ổn định từng mô đun, vừa không chế không phát sinh vết nứt trong các mô đun của tháp van công;

Trong nghiên cứu này, khi xác định các thông số kỹ thuật chính của kết cấu như: loại cáp, lực căng cáp, các thông số đặc trưng của từng mô đun... chỉ xét các lực chính tác dụng lên kết cấu như trọng lượng bản thân, áp lực nước, áp lực đất tác dụng lên kết cấu và lực căng cáp tạo ứng suất trước;

Hình thức tiếp xúc giữa các mô đun công giúp tăng lực ma sát và lực kháng cắt ở các điểm nối tháp công. Có nhiều hình thức tiếp xúc khác nhau như: phẳng, ngầm âm dương theo chiều dày công, ngầm âm dương theo chiều rộng tháp công. Trong nghiên cứu này tác giả đề xuất hình thức đơn giản nhất là tiếp xúc phẳng, vừa thuận tiện trong thi công đúc tháp, thuận tiện cho việc lắp dựng.

3.3. Xác định các thông số của tháp van công Vĩnh Trinh

3.3.1. Lựa chọn các thông số hình học của tháp van công Vĩnh Trinh

Dựa trên hồ sơ thiết kế công đập chính Vĩnh Trinh cùng với những nghiên cứu đã được đề cập (Trần Duy Quân & nnk, 2015), các thông số chính của tháp khi áp dụng hình thức kết cấu ứng suất trước như sau:

Chiều cao của tháp van $H = 15$ m;

Chiều cao cột nước bình thường $H_{BT} = 11,75$ m;

Cột đất đẩy tháp $H_t = 15$ m;

Cột đất giữ tháp $H_h = 14,03$ m;

Kích thước cạnh vuông góc dòng chảy (bên trong) $B = 2,0 \text{ m}$;

Kích thước cạnh phương dòng chảy (bên trong) $L = 2,0 \text{ m}$;

Số đoạn tháp công $n_{max} = 6$;

Chiều cao đoạn $H_d = 2,5 \text{ m}$;

Chiều dày tháp van $t = 0,4 \text{ m}$;

Góc ma sát trong của đất ở trạng thái bão hòa $\varphi_{bh} = 16^0$;

Dung trọng đầy nổi của đất đắp đập $\gamma_{dn} = 8 \text{ KN/m}^3$;

Dung trọng riêng của bê tông $\gamma_{BT} = 24 \text{ KN/m}^3$.

3.3.2. Lựa chọn tạo thép căng tạo ứng suất trước

Áp dụng các bước tính toán lực căng cáp yêu cầu khi thi công T_{yc} (Trần Duy Quân & nnk, 2015), đối với tháp van công Vĩnh Trinh, ta xác định được $T_{yc} = 1158,68 \text{ KN}$. Lực này là căn cứ để lựa chọn tạo thép căng tạo ứng suất trước. Dựa trên những quy định của TCXDVN 6284-1997, loại tạo thép được lựa chọn cho công Vĩnh Trinh là loại tạo thép 7 sợi thường. Đây là loại tạo thép có diện tích tiết diện khá lớn, mềm nên rất thích hợp với kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước căng sau. Ở Việt Nam,

loại tạo thép 7 sợi thường được dùng phổ biến và có nhiều trên thị trường là loại có đường kính danh nghĩa $12,7 \text{ mm}$. Ngoài ra, tính toán cũng cho thấy, khi sử dụng loại tạo thép này, khả năng làm việc của tạo thép gần như được huy động tối đa đến $165,53 \text{ KN}/184 \text{ KN}$.

Các thông số kỹ thuật của bó cáp thép được chọn cho công Vĩnh Trinh như sau:

Bố trí 4 bó cáp thép tại 4 góc của tháp van trong các lỗ chừa sẵn;

Mỗi bó cáp thép được tạo thành từ 7 tạo thép 7 sợi thường loại $12,7 \text{ mm}$;

Mô đun đàn hồi của vật liệu thép là $E_t = 2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2$;

Vật liệu bê tông dùng để sản xuất các mô đun tháp van công, chọn bê tông nặng mác M300 hay B30 có các thông số kỹ thuật:

Trọng lượng riêng $\gamma_{BT} = 24 \text{ (KN/m}^3)$;

Mô đun đàn hồi: $E_b = 2,9 \cdot 10^7 \text{ KN/m}^2$;

Cường độ chịu kéo cho phép: $[R_k] = 1500 \text{ KN/m}^2$;

Cường độ chịu nén cho phép: $[R_n] = 17000 \text{ KN/m}^2$.

Bảng 1. Kết quả kiểm tra ổn định và độ bền tháp van công

| n | Ứng suất tại mép biên thượng lưu | Ứng suất tại mép biên hạ lưu | Độ bền chịu nén của bê tông $[R_n]$ | K | [K] | Kết luận |
|---|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------|-----------------|
| | KN/m^2 | KN/m^2 | KN/m^2 | | | |
| 0 | 0.00 | 2856.52 | 17000.00 | 3.22 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |
| 1 | 505.07 | 2237.46 | 17000.00 | 4.29 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |
| 2 | 841.32 | 1787.20 | 17000.00 | 6.10 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |
| 3 | 1038.15 | 1476.38 | 17000.00 | 9.58 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |
| 4 | 1124.91 | 1275.62 | 17000.00 | 18.01 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |
| 5 | 1130.98 | 1155.54 | 17000.00 | 51.95 | 1.15 | Đảm bảo an toàn |

3.4. Sơ bộ kiểm tra ổn định và độ bền của tháp van công theo phương pháp trọng lực

Nội dung kiểm tra bao gồm kiểm tra ổn định tại mặt tiếp giáp giữa các đoạn tháp van công và ứng suất “lớn nhất” và “nhỏ nhất” tại mép biên của đoạn tháp công thứ n. Trường hợp tính toán: tháp van công trong giai đoạn khai thác, mực nước thượng lưu hồ chứa là mực nước lũ thiết kế +32,574 m, thiết bị chống thấm và thoát nước trong thân đập làm việc bình thường, các đoạn tháp có kích thước như nhau, hệ số ổn định tương ứng với cấp công trình [K] = 1.15. Phương pháp kiểm tra tương tự phương pháp được đề cập ở (Trần Duy Quân & nnk, 2015).

Như vậy, với các thông số kỹ thuật đã lựa chọn, tháp công Vĩnh Trinh đảm bảo điều kiện làm việc an toàn.

3.5. Tính toán mô phỏng kết cấu tháp van công bằng phần mềm ANSYS

3.5.1. Trường hợp tính toán

Quá trình tính toán, phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng của tháp van công Vĩnh Trinh bằng phần mềm ANSYS được thực hiện cho 2 trường hợp:

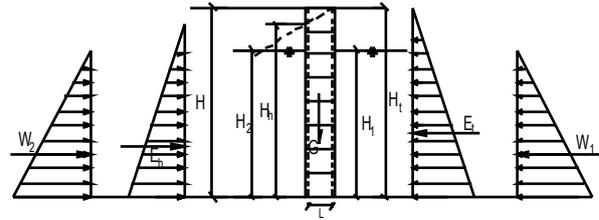
TH1: Tháp van công hình thức lắp ghép ứng suất trước căng sau, kết cấu làm việc trong điều kiện bình thường;

TH2: Tháp van công hình thức bê tông cốt thép liền khối truyền thống, kết cấu làm việc trong điều kiện bình thường.

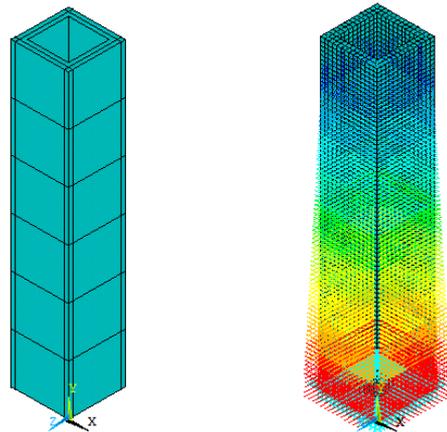
3.5.2. Sơ đồ và quá trình tính toán

Sơ đồ tải trọng tác dụng lên tháp van trong hai trường hợp gồm áp lực nước, áp lực đất, trọng lượng bản thân được mô tả như hình vẽ.

Phần mềm ANSYS dựa trên phương pháp phân tử hữu hạn được sử dụng để phân tích ứng suất biến dạng cho hai dạng kết cấu.



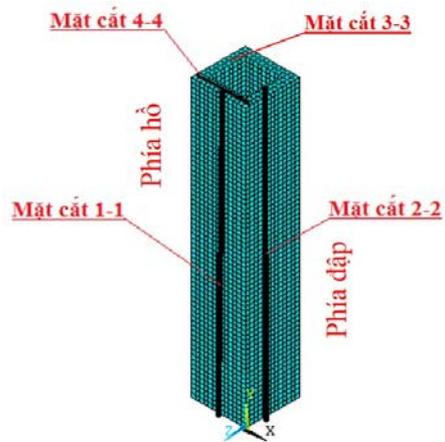
Hình 3: Sơ đồ tính toán tháp van công lắp ghép ứng suất trước TH1



Hình 4: Mô hình PTHH tháp van công lắp ghép TH1

3.6. Kết quả tính toán mô phỏng kết cấu tháp van công bằng phần mềm ANSYS

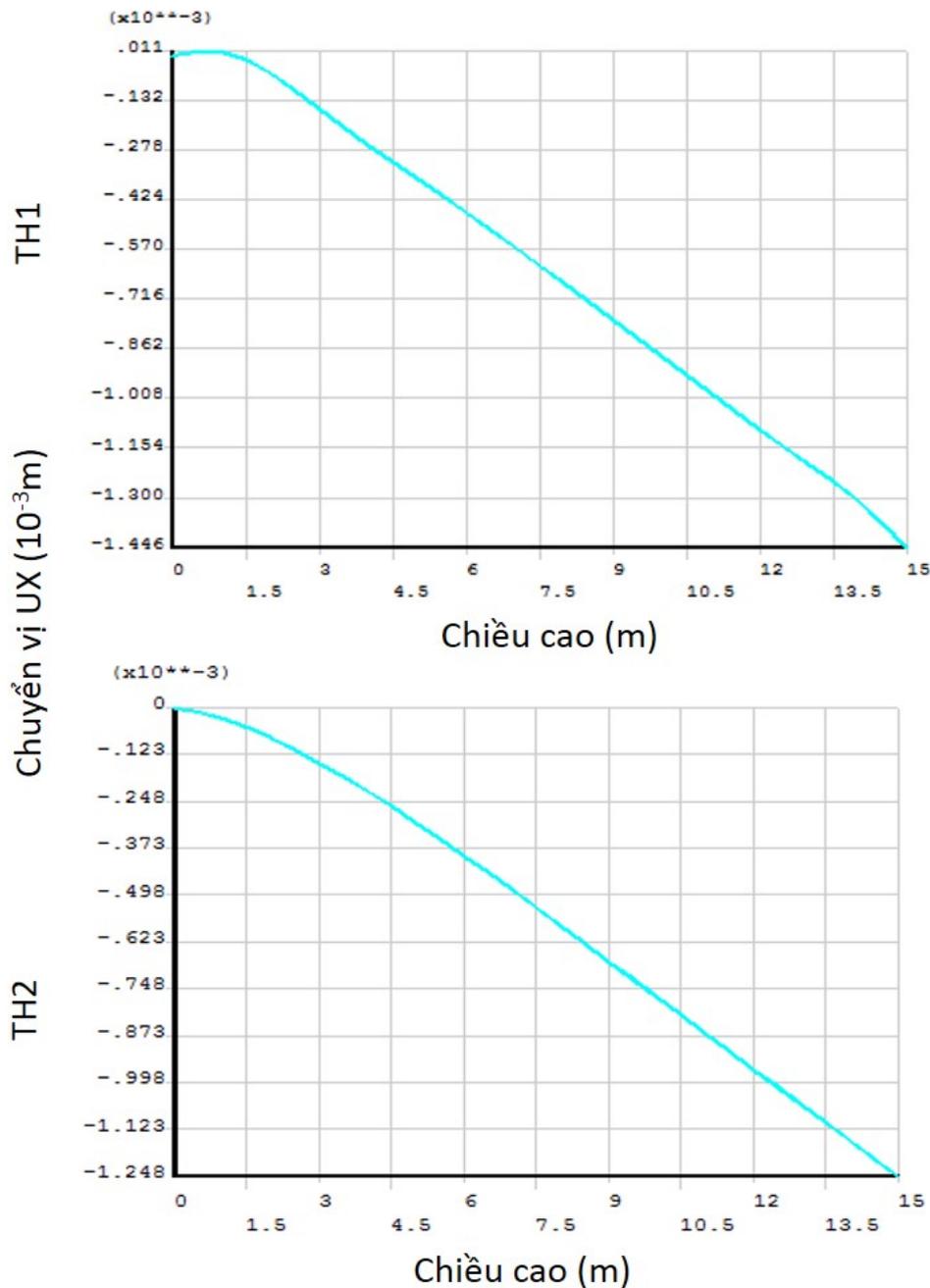
Kết quả tính toán được trích xuất từ mô hình theo các mặt cắt như đánh dấu ở hình 5. Tuy nhiên, trong giới hạn của bài báo chỉ phân tích kết quả tính toán có được trên mặt cắt 2-2 và 3-3.



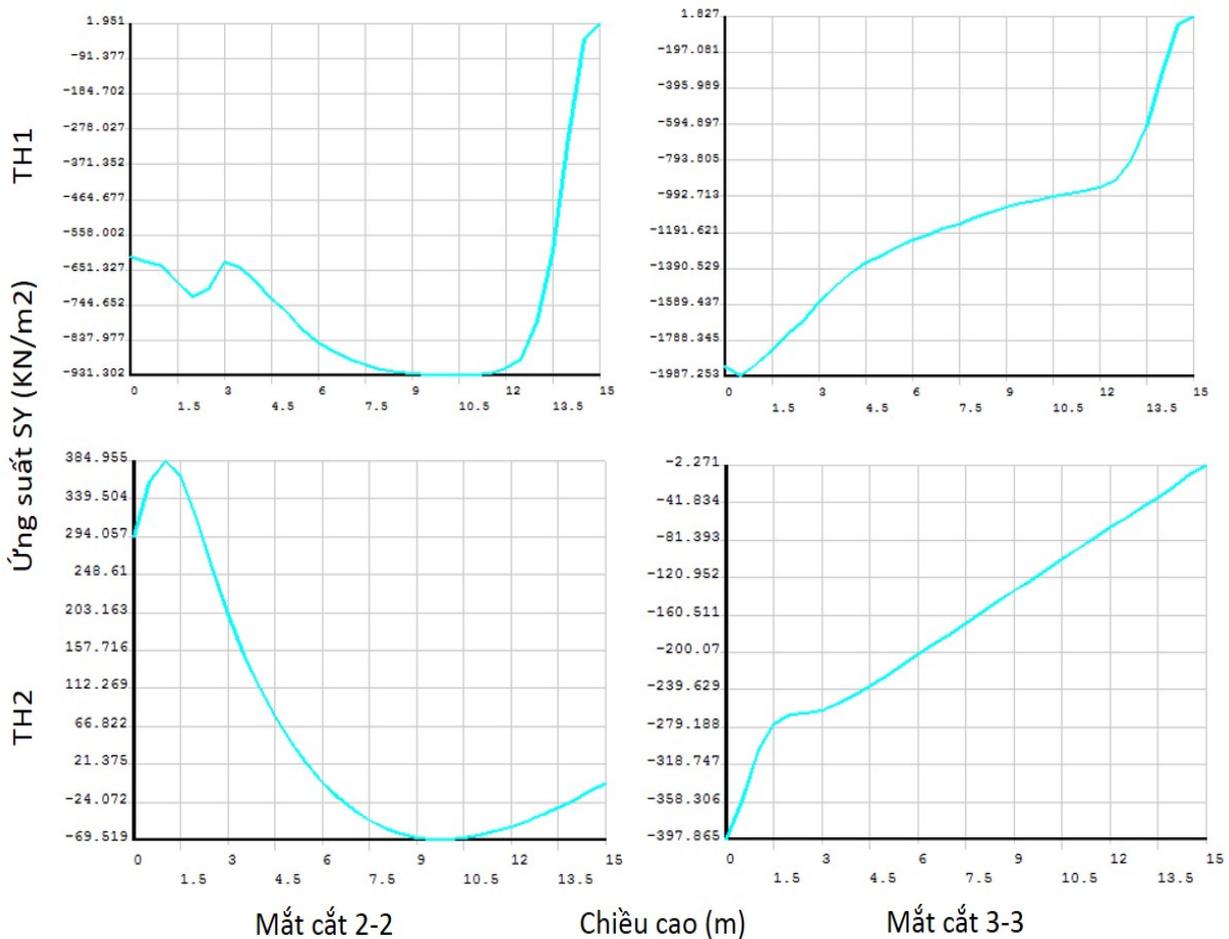
Hình 5: Sơ đồ bố trí mặt cắt xuất kết quả

Kết quả tính toán cho thấy phân bố chuyển vị ngang theo chiều cao của tháp công cho hai trường hợp tại mặt cắt 2-2 có dạng tương đối giống nhau. Giá trị chuyển vị lớn nhất theo phương X (phương dòng chảy) đối với TH1 là 1,446 mm, TH2 là 1,248 mm. Vị trí có giá trị

chuyển vị lớn nhất là trên đỉnh tháp công, thể hiện trên hình 6. Điều này cho thấy tháp công đổ liền khối có chuyển vị nhỏ hơn, tuy nhiên giá trị tuyệt đối của sự khác nhau này không đáng kể.



Hình 6: Kết quả tính chuyển vị theo phương ngang (UX), mặt cắt 2-2

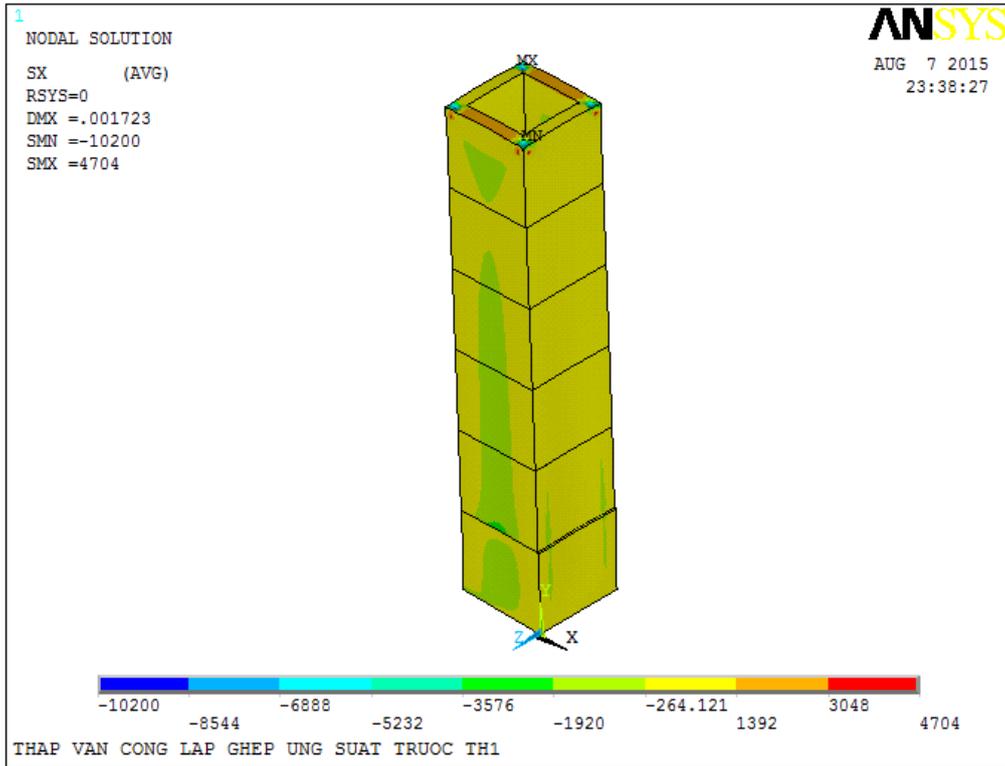


Hình 7: Kết quả tính ứng suất (S_Y) theo phương đứng

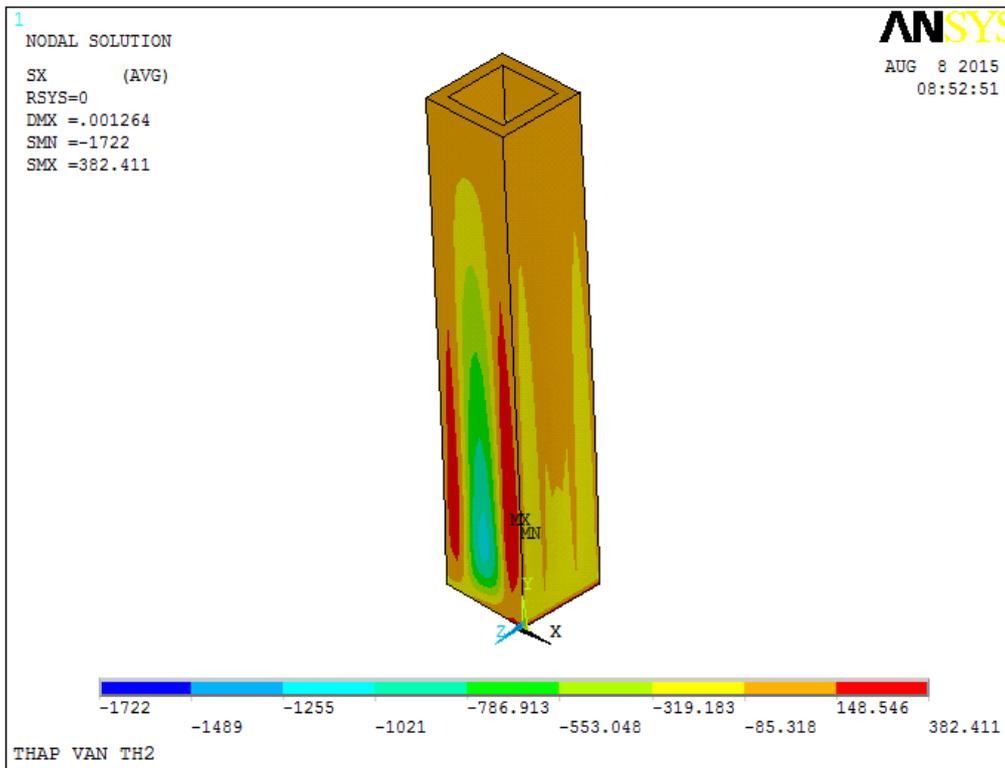
Hình 7 thể hiện ứng suất theo phương Y (phương đứng) cho TH1 và TH2 đối với mặt cắt 2-2 và 3-3. Kết quả cho thấy sự khác nhau về phân bố ứng suất và giá trị ứng suất lớn nhất và nhỏ nhất. Với TH1, mặt cắt 2-2 và 3-3 cho ứng suất nén lớn nhất lần lượt là 931 KN/m^2 và 1987 KN/m^2 , lớn hơn rất nhiều so với TH2 và 69 KN/m^2 và 397 KN/m^2 . Điều này chứng tỏ công lắp ghép (TH1) phát huy tối đa khả năng chịu nén của bê tông. Ngoài ra, với TH1 gần như không xuất hiện ứng suất kéo, với công liền khối truyền thống (TH2) ứng suất kéo xuất hiện tại vị trí gần chân tháp với giá trị khoảng 384 KN/m^2 . Mặc dầu các đường quan hệ của ứng suất SY tại các mặt cắt của 2 trường hợp là khá tương đồng về xu thế, tuy nhiên do khác nhau về các giá trị cực đại

và cực tiểu như chỉ ra ở trên nên các đường quan hệ này có phân bố theo chiều cao công khá khác nhau.

Hình 8 và 9 thể hiện phân bố ứng suất theo phương ngang (SX) đối với hai trường hợp tính toán. Sự khác nhau rõ rệt về sự phân bố ứng suất này dễ dàng nhận thấy. Đối với TH1, ứng suất min và max xuất hiện cục bộ tại đỉnh, nơi đặt các neo cáp, ứng suất nén phân bố khá đồng đều trên toàn bộ thân tháp từ khoảng -3576 KN/m^2 đến -264 KN/m^2 . Đối với TH2, ứng suất kéo và nén xuất hiện đan xen tại hai mặt bên của tháp công từ -1255 KN/m^2 đến 382 KN/m^2 . Mặc dầu giá trị ứng suất kéo này còn nhỏ hơn độ bền chịu kéo của bê tông nhưng với phân bố này, TH2 không phát huy hết hiệu quả làm việc của vật liệu bê tông.



Hình 8: Ứng suất (SX) tháp van công, TH1



Hình 9: Ứng suất (SX) tháp van công, TH2

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo tập trung phân tích trạng thái ứng suất – biến dạng của kết cấu tháp van công lắp ghép ứng suất trước khi áp dụng cho tháp van công Vĩnh Trinh – tỉnh Quảng Nam, so sánh với kết quả tính toán ứng suất biến dạng tháp công liền khối truyền thống có cùng kích thước và vật liệu. Kết quả tính toán cho thấy:

Nghiên cứu đã mô phỏng thành công trạng thái ứng suất biến dạng của tháp van công lấy nước thi công theo phương pháp đúc sẵn lắp ghép ứng suất trước căng sau trong điều kiện công trình làm việc bình thường;

Về chuyển vị, cả hai loại công có sự tương đồng về dạng đường quan hệ chuyển vị ngang theo chiều cao công, tuy nhiên giá trị cực đại có khác nhau với giá trị không lớn;

Phân phối ứng suất theo phương đứng (SY) của tháp công lắp ghép ứng suất trước căng sau tốt hơn so với kết cấu công liền khối do toàn bộ dọc chiều cao của tháp chủ yếu là ứng suất nén. Với công liền khối, ứng suất kéo xuất hiện ở mép trong của chân tháp (mặt tiếp xúc với đập);

Mặt bên tháp công liền khối truyền thống xuất hiện các vùng ứng suất kéo nén đan xen, trong khi đó, tháp công lắp ghép chỉ có ứng suất nén;

Về phương diện kết cấu, các kết quả tính toán trên đây cho thấy triển vọng ứng dụng giải pháp kết cấu đúc sẵn lắp ghép ứng suất trước căng sau trong việc sửa, nâng cấp tháp công lấy nước dưới đập.

Mặc dầu nghiên cứu đã phân tích thành công trạng thái ứng suất biến dạng của tháp công lắp ghép ứng suất trước căng sau và đã rút ra được một số nhận xét, so sánh với kết quả tính toán kết cấu tháp công truyền thống nhưng nghiên cứu còn một số hạn chế cần tiếp tục phát triển:

Nghiên cứu mới chỉ khảo sát cho tháp công Vĩnh Trinh, các công có quy mô khác nhau cần được khảo sát một cách rộng hơn nữa để có đánh giá tổng quan nhất;

Nghiên cứu chưa đề cập đến ảnh hưởng của biến dạng nền do tháp công Vĩnh Trinh được đặt trên nền đá rắn chắc. Với nền đất thì ảnh hưởng của biến dạng nền cần được đánh giá kỹ lưỡng cho hai trường hợp nói trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ khoa học công nghệ (1997), Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6284 - 4: 1997, Thép cốt bê tông dự ứng lực – Phần 4: Dành, Hà Nội.
- [2] Bộ xây dựng (2005), Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 356: 2005 Kết cấu bê tông cốt thép, Hà Nội.
- [3] Bộ xây dựng (2006), Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 375: 2006 Thiết kế công trình chịu động đất, Hà Nội.
- [4] Nguyễn Chiến & nnk (2013), Bài giảng công trình trên hệ thống thủy lợi, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
- [5] Nguyễn Tiên Chương (2014), Kết cấu bê tông ứng suất trước, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.

- [6] Nguyễn Tiến Chương (2014), Kết cấu bê tông ứng suất trước căng sau, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội.
- [7] Công ty tư vấn xây dựng Ninh Bình (2007), Hồ sơ thiết kế dự án sửa chữa nâng cấp hồ chứa nước Vĩnh Trinh, Ninh Bình.
- [8] Vũ Hoàng Hưng, Nguyễn Quang Hùng (2011), ANSYS phân tích kết cấu công trình thủy lợi thủy điện (Tập 1 – Các bài toán cơ bản), Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội.
- [9] Đặng Đình Minh (2010), Thi công cốt thép dự ứng lực (gia công và lắp đặt cốt thép dự ứng lực), Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội.
- [10] Tổng cục Thủy Lợi (2012), Báo cáo số 2846/BNN-TCTL ngày 24/08/2012, Hà Nội.
- [11] Trần Duy Quân, Hồ Sỹ Tâm, Nguyễn Cảnh Thái (2015), Tính toán lực căng cáp cho tháp van công ngầm sử dụng giải pháp kết cấu lắp ghép ứng suất trước căng sau, Tuyển tập hội nghị khoa học thường niên Đại học Thủy Lợi 2015.