

ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP HẠN CHẾ NỨT ỐNG BÊ TÔNG DỰ ỨNG LỰC D2400MM

KS. **UÔNG HỒNG SƠN**

ThS. **LÊ VĂN MINH**

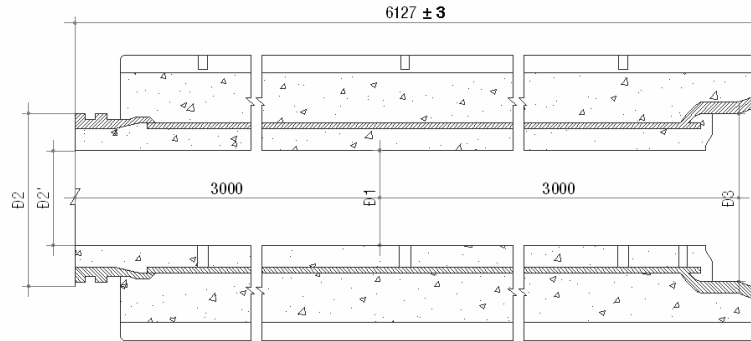
Viện KCCN Xây dựng

1. Giới thiệu

Ống bê tông dự ứng lực có nòng thép D2400 là sản phẩm cung cấp cho các tuyến ống cấp nước sạch. Đây là sản phẩm lần đầu được sản xuất tại Việt Nam theo công nghệ của ITALIA. Thiết kế theo tiêu chuẩn ANSI/AWWA C304 và sản xuất theo tiêu chuẩn ANSI/AWWA C301 của Hiệp hội Cấp thoát nước Hoa Kỳ. Ống có đường kính trong là 2400mm, đường kính ngoài 2752mm, dài 6m, mỗi ống nặng 23 tấn.

Ống có cấu tạo như sau :

- Lớp trong cùng là bê tông lõi, cường độ thiết kế 45 MPa, dày 150mm chia thành 2 phần : phía trong nòng thép dày 61mm, phía ngoài nòng thép dày 87,5mm, thi công bằng phương pháp đổ đứng, đầm rung.
- ở giữa lớp bê tông lõi là nòng thép cường độ cao chạy dọc theo chiều dài ống, dày 1,5 mm, ứng suất chảy $>227\text{N/mm}^2$, độ giãn dài $>15\%$.
- Phía ngoài lớp bê tông lõi được quấn một lớp thép dự ứng lực đường kính 6mm, giới hạn chảy $f_p(0.2)k = 1450 \text{ N/mm}^2$, giới hạn bền kéo $f_{tk} = 1670\text{N/mm}^2$, mật độ quấn 51-53 vòng/m, lực kéo căng 136 Kg/mm^2 .
- Lớp ngoài cùng của ống là lớp vữa phủ, cường độ thiết kế 47,2 MPa, dày 25 mm.



Hình 1. Cấu tạo ống bê tông dự ứng lực D2400mm

Khi ứng dụng công nghệ của ITALIA để sản xuất đại trà tại Việt Nam đã xuất hiện vấn đề nứt ống bê tông dự ứng lực.

2. Mô tả hiện tượng nứt ống

- Các vết nứt có dạng tròn chạy vòng theo chu vi ống, phân bố tại 03 vùng : chính giữa ống và cách 2 đầu ống 1÷2m, mỗi vùng thường chỉ có một vết nứt. Vị trí các vết nứt chỉ có ở mặt trong và phần lớn nằm trên đỉnh ống. Thời gian xuất hiện và phát triển các vết nứt nằm trong khoảng từ 05 ÷ 45 ngày, kể từ ngày bắt đầu được bảo quản ngoài trời.
- Chiều rộng vết nứt (đo bằng kính soi vết nứt WF - 10X của Anh trên 20 ống) nằm trong khoảng từ 0,28 ÷ 0,52mm. Ngâm ống liên tục trong vòng 72 giờ và đo lại thấy các vết nứt có xu hướng khép lại, độ khép vết nứt nằm trong khoảng 0,02 ÷ 0,21 mm.
- Chiều sâu các vết nứt (đo bằng máy siêu âm TICO theo TCVN 255 : 1998 trên 20 ống) nằm trong khoảng từ 39 ÷ 61 mm, nghĩa là có xu hướng phát triển đến hết chiều dày lớp bê tông lõi phía trong nòng thép.

3. Phương pháp khảo sát, đánh giá

Qua khảo sát và nghiên cứu, bước đầu khoanh vùng nguyên nhân gây nứt bê tông có thể là :

- Do chất lượng của bê tông lõi ống;
- Do quá trình cầu lắp, vận chuyển;
- Do tác dụng đồng thời của nhiệt độ (trong và ngoài ống) và trọng lượng bản thân;
- Do biến dạng gây ra bởi thép dự ứng lực;
- Do co ngót của bê tông.

Việc khoanh vùng các nguyên nhân đã định hướng cho việc khảo sát trên thực tế (các chỉ tiêu cần khảo sát, khối lượng, phương pháp khảo sát). Nguyên nhân gây nứt ống sẽ được xác định bằng phương pháp loại trừ thông qua việc lấy mẫu, thí nghiệm và tính toán.

3.1. Chất lượng của bê tông lõi ống

Tiêu chuẩn ANSI/AWWA C301 quy định cường độ chịu nén tuổi 28 ngày của bê tông lõi ống phải $\geq 45\text{MPa}$ và hàm lượng Cl^- trong bê tông $\leq 0,06\%$ so với trọng lượng xi măng.

Cường độ chịu nén của bê tông trên hiện trường

được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C42/C42M-99, khối lượng thí nghiệm là 20 ống, mỗi ống lấy 01 tổ mẫu (03 mẫu). Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của bê tông nằm trong khoảng từ $44,3 \div 68,0\text{MPa}$, đáp ứng yêu cầu của thiết kế và tiêu chuẩn.

Hàm lượng Cl^- của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1218/C1218M-99, khối lượng thí nghiệm là 20 ống, mỗi ống lấy 01 tổ mẫu (03 mẫu). Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng Cl^- nằm trong khoảng từ $0,003 \div 0,016\%$ khối lượng xi măng, đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn.

Mức chống thấm của bê tông lõi ống đạt cấp B12.

Việc xem xét cấp phối sử dụng cho việc sản xuất bê tông lõi cho thấy đây là một cấp phối đã được ứng dụng ở nhiều Nhà máy trên thế giới trước khi được chuyển giao tại Việt Nam.

Bảng 1. Cấp phối bê tông lõi ống

Cấp phối						
Xi măng PCB 40 Hà Tiên (Kg)	Cát (Kg)	Đá 0-3 (Kg)	Đá 3-9 (Kg)	Đá 9-19 (Kg)	N/X	Độ sụt (cm)
520	354	354	472	662	0,36	1-3

Cốt liệu đá trong cấp phối được thiết kế hợp lý với việc sử dụng 03 thành phần hạt liên tục từ 0 - 19mm. Cát có mô đun độ lớn $M_{dl} = 2,7 - 2,8$, phù hợp với [8].

Tỷ lệ $\text{N/X} = 0,36$ đáp ứng yêu cầu theo [1] ($< 0,45$), độ sụt $\text{ĐS} = 1-3\text{ cm}$ phù hợp với [8] ($2-4\text{ cm}$, $\text{max} = 8\text{cm}$).

Tuy nhiên, hàm lượng xi măng (520 kg) là khá cao so với mức thiết kế (45 MPa) đã dẫn đến việc tăng hàm lượng bột mịn trong bê tông. Ngoài ra, đối với bê tông mác tới 50 MPa, độ sụt $\leq 10\text{cm}$, tài liệu [8] hướng dẫn kết hợp xi măng cường độ 40 - 45 MPa với tối thiểu 1 loại phụ gia dẻo hoá cao. Các yếu tố nói trên tiềm ẩn khả năng gây co ngót cho bê tông.

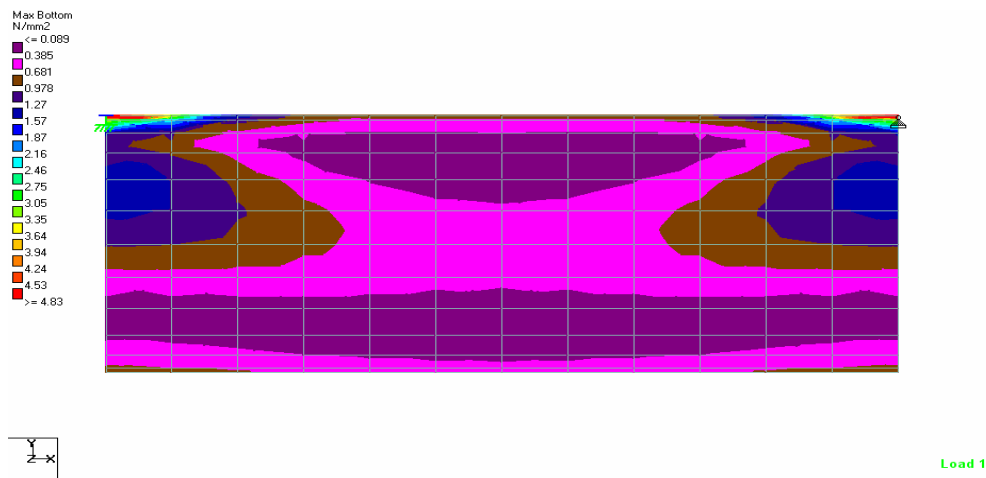
Như vậy, chất lượng của bê tông lõi ống đáp ứng

các yêu cầu của thiết kế và tiêu chuẩn về cường độ nén, hàm lượng Cl^- , mức chống thấm, tuy nhiên cấp phối sử dụng chưa hợp lý và có thể là một trong những nguyên nhân gây nứt bê tông.

3.2. Quá trình cầu lắp, vận chuyển

Trong giai đoạn vận chuyển, sự làm việc của ống được phân tích như một bài toán độc lập. Cấu kiện ống làm việc theo mô hình ống tựa ở hai đầu (tại các vị trí cầu trục kẹp ống) và chịu tải trọng bản thân. Kết quả tính toán cho thấy, ứng suất trong ống khi vận chuyển là nhỏ (xem hình 2) nên không thể gây nứt ống tại các vị trí đã quan sát thấy.

Như vậy, quá trình cầu lắp, vận chuyển ống không phải là nguyên nhân gây nứt bê tông.



Hình 2. Trạng thái ứng suất của ống trong quá trình cầu lắp, vận chuyển

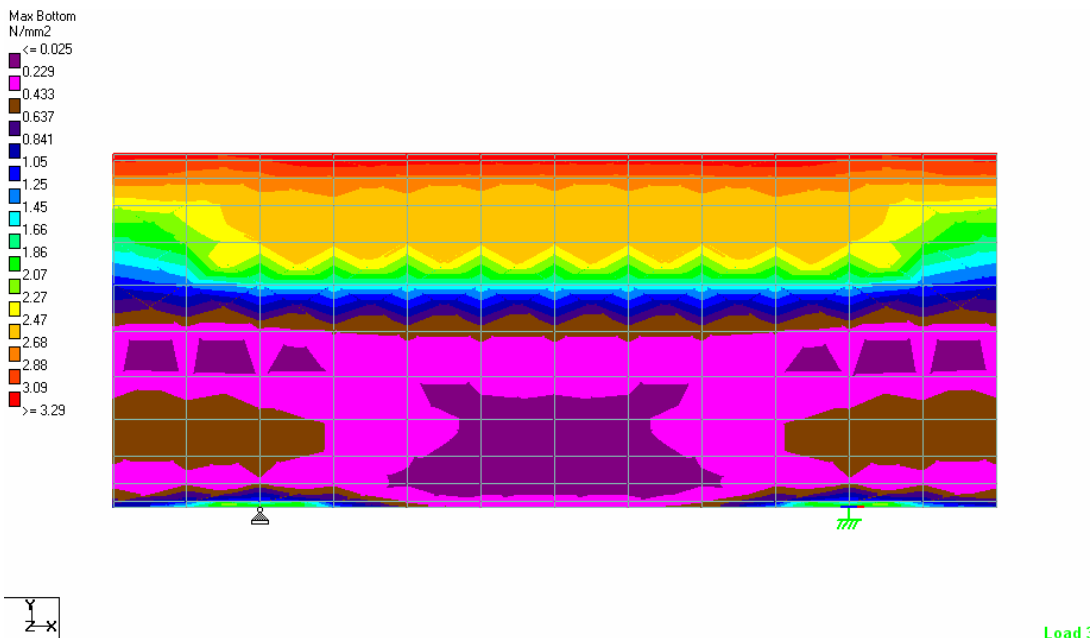
3.3. Tác dụng đồng thời của nhiệt độ và trọng lượng bản thân

Chênh lệch nhiệt độ trong và ngoài ống được đo bằng thiết bị TESTO 925, dùng đầu đo Đồng - Constantan. Khối lượng thí nghiệm là 03 ống, mỗi ống đo tại 03 mặt cắt, mỗi mặt cắt bố trí 16 điểm đo (8 điểm trong và 8 điểm ngoài). Thời gian đo là 72 giờ liên tục với chu kỳ đo 2 giờ/1 lần.

Kết quả đo cho thấy: chênh lệch nhiệt độ nhỏ nhất là $\Delta T = 1 \div 5^{\circ}\text{C}$ (thời điểm trời mưa), lớn nhất là $\Delta T = 21^{\circ}\text{C}$ (thời điểm trời nắng). Thời điểm có chênh lệch nhiệt độ cao nhất : 12 ÷ 14h. Vị trí có chênh lệch nhiệt độ cao nhất: đỉnh ống.

Sự chênh lệch nhiệt độ nói trên sẽ gây ra các ứng suất trong phạm vi các phần tử mặt trên của ống. Xét trường hợp ống chịu đồng thời tác dụng của chênh lệch nhiệt độ và trọng lượng bản thân, mô hình của ống lúc này có dạng tựa hai đầu ở phía dưới. Kết quả tính toán cho thấy, sự phân phối ứng suất tại hai đầu và giữa ống là đủ nhỏ, không thể gây nứt ống tại các vị trí đã quan sát thấy.

Như vậy, tác dụng đồng thời của sự chênh lệch nhiệt độ và trọng lượng bản thân *không phải là nguyên nhân gây nứt bê tông.*



Hình 3. Trạng thái ứng suất của ống khi chịu đồng thời tác dụng của nhiệt độ và trọng lượng bản thân

3.4. Biến dạng gây ra bởi thép dự ứng lực

Khi tạo ứng lực trước cho thép vòng quấn quanh ống, trên bề mặt bê tông thành ống sẽ xuất hiện áp lực hướng tâm, ứng suất nén theo phương vòng lúc này được tính theo công thức:

$$\sigma_c = \sigma_s \mu$$

ứng suất nén theo phương vòng sẽ gây ra ứng suất kéo σ_{cd} theo phương dọc ống :

$$\sigma_{cd} = 0.15 m_T \sigma_s \mu$$

Trong đó:

σ_s - ứng suất kéo trong thép ứng lực trước theo phương vòng.

σ_c - ứng suất nén trong bê tông thành ống theo phương vòng.

σ_{cd} - ứng suất kéo trong bê tông thành ống theo phương dọc.

m_T - hệ số lấy bằng 1.1.

μ - hàm lượng thép ứng lực trước.

Biến dạng tương đối của bê tông gây ra bởi thép ứng lực trước (ε_{bt}) và biến dạng của thép ứng lực trước (ε_t) không đồng nhất với nhau và nếu chênh lệch của hai biến dạng này $\Delta_{ult} = \varepsilon_{bt} - \varepsilon_t$ lớn hơn biến dạng tương đối giới hạn của bê tông ε_{max} thì thành ống sẽ bị nứt. Kết quả tính toán biến dạng gây ra do thép dự ứng lực trong ống DN2400 như sau.

Bảng 2. Kết quả tính toán biến dạng gây ra do thép dự ứng lực

STT	Nội dung tính toán	Ký hiệu	Kết quả
1	Hàm lượng thép vòng	μ	0.0097
2	Ứng lực trước (MPa)	σ_s	0.9636
3	Biến dạng bê tông	ε_{bt}	5.35E-06
4	Biến dạng thép	ε_t	3.85E-05
5	Chênh lệch biến dạng	Δ_{ult}	3.32E-05

3.5. Biến dạng gây ra do co ngót của bê tông

Trong giai đoạn sản xuất, khi chưa chịu tác động của tải trọng, về tổng thể ống là một kết cấu tĩnh định. Do trong thành ống có các lớp cốt thép (nòng thép, thép ứng lực trước) nên biến dạng do co ngót sẽ gây ra ứng suất kéo trong bê tông. Biến dạng tương đối do co ngót gây ra đối với cốt thép (ε^{bt}) sẽ không đồng nhất với biến dạng tương đối do co ngót gây ra đối với cốt thép (ε^{st}) và nếu chênh lệch của hai biến dạng này $\Delta_{cn} = \varepsilon^{st} - \varepsilon^{bt}$ lớn hơn biến dạng tương đối giới hạn của bê tông ε_{max} (mục 3.6) thì thành ống sẽ bị nứt.

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ lớn của ứng suất kéo do co ngót gồm: thành phần cốt liệu, tỉ lệ nước/ximăng, độ ẩm không khí của môi trường bảo quản ống, và diện tích bề mặt bê tông cho phép bay hơi nước.

Thành phần cốt liệu và tỷ lệ nước/xi măng là hợp lý, như đã phân tích ở mục 3.1 nên có thể bỏ qua ảnh hưởng của các yếu tố này tới ứng suất kéo do co ngót.

Độ ẩm không khí của môi trường bảo quản ống được xem xét trong khoảng $W = 40\% \div 90\%$. Xét thấy giá trị biến dạng do co ngót của bê tông tỷ lệ nghịch với độ lớn của độ ẩm môi trường, khi độ ẩm môi trường $\geq 90\%$ thì khả năng nứt do co ngót khó có thể xảy ra. Quá trình tính toán chỉ xét tới 2 giá trị của độ ẩm là $W = 40\%$ và 80% , tương đương với các biến dạng do co ngót ε_{max} và ε_{min} .

Diện tích bề mặt bê tông cho phép bay hơi nước

được xem xét trong quá trình tính toán thông qua hệ số quy đổi S_{qd} lấy bằng tỷ số giữa diện tích và chu vi của ống.

Biến dạng tương đối do co ngót của bê tông ε_{yn} được coi là biến dạng tương đối của mẫu $10 \times 10 \text{ cm}$ trong điều kiện độ ẩm 70% tại thời điểm $t \rightarrow \infty$, áp dụng đối với bê tông nặng cốt liệu đá dăm có $d_{max} = 1 \div 2 \text{ cm}$, cát có cỡ hạt trung bình. Trong đó t được tính từ thời điểm kết thúc bảo quản mẫu.

$$\varepsilon_{yn} = K_y B \sqrt{B} ; K_y = 0.125 \times 10^{-6} (\text{m}^3/\text{kg}); B: \text{lượng nước dùng cho } 1 \text{ m}^3 \text{ bê tông.}$$

Do sau khi sản xuất bê tông lõi ống, ống được dưỡng hệ hơi nước trong 24h, cường độ sau khi dưỡng hệ đạt 80% cường độ thiết kế nên khi tính toán, giá trị ε_{yn} được giảm đi 10% .

Do ảnh hưởng của độ ẩm môi trường và diện tích bề mặt bay hơi nước nên trong thực tế, biến dạng tương đối do co ngót của bê tông sẽ được tính như sau :

$$\varepsilon^{b}yt = \varepsilon_{yn}\varepsilon_{kt}\varepsilon_{mt}$$

Trong đó :

ε_{kt} - hệ số xét đến ảnh hưởng của kích thước cấu kiện và phụ thuộc vào giá trị qui đổi của tiết diện lấy bằng tỉ số giữa diện tích tiết diện và chu vi của nó (S_{qd}). Khi tính chu vi chỉ lấy các cạnh mà bề mặt cho phép bay hơi nước;

ε_{mt} - hệ số xét đến ảnh hưởng của độ ẩm môi trường bảo quản ống.

Bảng 3. Các hệ số tính toán

S_{qd}	2,5	5	10	15	20	25
ε_{kt}	1	0.9	0.75	0.55	0.4	0.4
Độ ẩm %	40	50	60	70	80	90
ε_{mt}	1.4	1.3	1.15	1	0.75	0

Kết quả tính toán biến dạng tương đối gây ra do co ngót trong ống DN2400 như sau (bảng 4).

Bảng 4. Kết quả tính toán biến dạng gây ra do co ngót bê tông

STT	Nội dung tính toán	Ký hiệu	Kết quả	
			Độ ẩm 40%	Độ ẩm 80%
1	Diện tích qui đổi	S_{qd}	3.0375	3.0375
2	Biến dạng tương đối của BT	ε_{yn}	4.00E-04	4.00E-04
3	Hệ số ảnh hưởng của kích thước	ε_{kt}	0.98	0.98
4	Hệ số ảnh hưởng của độ ẩm môi trường	ε_{mt}	1.4	0.75
5	Biến dạng tương đối của BT (thực tế)	$\varepsilon^{b}yt$	5.49E-04	2.94E-04
6	Giảm 10% do dư thừa hệ hơi nước		4.94E-04	2.65E-04
7	Biến dạng của thép	$\varepsilon^{a}yt$	6.86E-05	3.68E-05
8	Chênh lệch biến dạng	Δ_{cn}	4.25E-04	2.28E-04

3.6. Biến dạng tương đối giới hạn do co ngót

Biến dạng tương đối giới hạn do co ngót tại thời điểm t bất kỳ được tính theo công thức:

$$\varepsilon_{yt} = \frac{\varepsilon_{ym}\Delta_t}{a + \Delta_t}$$

Nếu tác động do co ngót không ngay lập tức mà sau 1 khoảng thời gian Δ_{to} sau khi sản xuất ống thì biến dạng tương đối do co ngót được tính như sau.

$$\varepsilon_{yt} = \varepsilon^{b}yt \left(\frac{\Delta_t}{a + \Delta_t} - \frac{\Delta_{to}}{a + \Delta_{to}} \right)$$

Trong đó:

$\varepsilon^{b}yt$: biến dạng tương đối do co ngót của bê tông.

Δ_t : thời gian được tính từ thời điểm sản xuất ống (ngày).

a - chỉ số vận tốc phát triển theo thời gian của biến dạng tương đối do co ngót, lấy theo bảng 5 dưới đây.

Bảng 5. Hệ số a - chỉ số vận tốc phát triển theo thời gian của biến dạng tương đối do co ngót

S_{qd}	2.5	5	10	15	20	25
a	55	80	135	190	240	300

Trong công thức trên thông số diện tích qui đổi S_{qd} là xác định, nên hệ số a và hệ số ảnh hưởng của kích thước cấu kiện ε_{kt} được lấy cố định theo S_{qd} . Để khảo sát ảnh hưởng của độ ẩm lấy giá trị $\varepsilon_{mt}=0.75$ và 1.4 tương ứng với độ ẩm môi trường là 80% và 40%, biến dạng tương đối tại bề mặt bê

tổng phía trong ống là ε_{\min} và ε_{\max} . Khi thay đổi thời gian Δ_t ta có các giá trị biến dạng tương đối tương ứng. Xem kết quả (bảng 6).

Bảng 6. Kết quả tính toán biến dạng tương đối giới hạn do co ngót bê tông

Đặc trưng	Thời gian kể từ khi bắt đầu quá trình co ngót						
	15	20	25	30	35	40	45
Δ_t	15	20	25	30	35	40	45
Δ_{t0}	5	5	5	5	5	5	5
a	60	60	60	60	60	60	60
ε_{\max}	5.64E-05	7.94E-05	9.96E-05	1.18E-04	1.34E-04	1.48E-04	1.61E-04
ε_{\min}	3.21E-05	4.52E-05	5.67E-05	6.69E-05	7.61E-05	8.43E-05	9.18E-05

Tổng hợp kết quả tính toán cho thấy :

- Biến dạng tương đối của bê tông gây ra do thép ứng lực trước có giá trị là **3.32E-05** (bảng 2) nhỏ hơn rất nhiều lần so với biến dạng tương đối giới hạn gây nứt là **1.61E-04** (bảng 6). Như vậy, biến dạng gây ra do thép ứng lực trước *không phải là nguyên nhân gây nứt bê tông*.
- Biến dạng tương đối của bê tông gây ra do co ngót ứng với độ ẩm 80% có giá trị là **2.28E-04** và ứng với độ ẩm 40% có giá trị là **4.25E-04** (bảng 4) đều lớn hơn biến dạng tương đối giới hạn gây nứt là **1.61E-04** (bảng 6). Như vậy, biến dạng gây ra do co ngót **là nguyên nhân gây nứt bê tông**.

4. Kết luận

- Nguyên nhân gây ra hiện tượng nứt lõi ống bê tông dự ứng lực là do co ngót. Các nguyên nhân trực tiếp là :
 - + Thành phần cấp phối bê tông chưa phù hợp với điều kiện nhiệt ẩm của Miền Nam Việt Nam dẫn đến sự co cứng của bê tông khi ống được để ngoài trời.
 - + Sự chênh lệch nhiệt độ của môi trường đã thúc đẩy thêm quá trình nứt của bê tông, đặc biệt là ở đỉnh ống.
 - + Bê tông lõi ống bị ngàm cứng ở hai đầu bởi thép vành miệng dẫn đến việc bê tông không thể co giãn.
- Giải pháp khắc phục: căn cứ vào kết quả khảo sát, đánh giá, Viện KHCN Xây dựng đã đề xuất các giải pháp khắc phục như sau:
 - + Nghiên cứu thiết kế thành phần cấp phối bê tông hợp lý nhằm giảm bớt sự co ngót, cụ thể là: giảm hàm lượng xi măng, sử dụng loại xi măng hợp lý, kết hợp các loại phụ gia khoáng, phụ gia siêu dẻo hoặc sử dụng cốt sợi.
 - + Tăng cường bảo dưỡng, che chắn ống khỏi các tác động của mặt trời.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ANSI/AWWA C301-99. Prestressed Concrete Pressure Pipe, Steel - Cylinder Type;
2. ANSI/AWWA C304-99. Design of Prestressed Concrete Cylinder Pipe;
3. AWWA Manual M9. Concrete Pressure Pipe;
4. BS EN 639 - 1995. Common requirements for concrete pressure pipes including joints and fittings;
5. BS EN 642 - 1995. Prestressed concrete pressure pipes, cylinder and non - cylinder, including joints, fittings and specific requirement for prestressing steel for pipes;
6. ASTM C1218/C1218M-99. Standard Test Method for Water - Soluble Chloride in Mortar and Concrete;
7. Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại. NXB Xây dựng, Hà Nội - 2000.