

ỐNG THÉP LỰƠN SÓNG - MỘT GIẢI PHÁP THÍCH HỢP CHO CÔNG CHUI DÂN SINH VÀ CÔNG NGANG ĐƯỜNG Ô TÔ

CORRUGATED STEEL PIPE – A SOLUTION FOR UNDERPASS AND CULVERT ON THE HIGHWAY

Hoàng Anh Tuấn ^(a), Trần Việt Hùng ^(b), Norihiro OHTAKA ^(c) và Hikamitsu OMIYA ^(c)

^(a) Tổng Cục Thủy Lợi, Bộ Nông Nghiệp và Phát Triển Nông Thôn

^(b) Khoa Công trình, Trường Đại Học GTVT

^(c) Công ty TNHH Nippon Steel & Sumikin Metal Products

Tóm tắt: Trong thời gian gần đây, nhiều trục đường cao tốc với hàng trăm ki lô mét đường đất đắp đã được xây dựng. Vì vậy, cần có nhiều hệ thống công chui dân sinh để đảm bảo lưu thông qua lại hai bên đường và công ngang để dẫn nước. Ở nước ta, các kết cấu công chui dân sinh, công dẫn nước ngang thường được làm bằng bê tông cốt thép nên có trọng lượng nặng, mất nhiều thời gian thi công móng và có thể gặp hiện tượng lún không đều so với nền đất đặc biệt ở khu vực nền đất yếu. Trong bài báo này, một loại ống thép lượn sóng có kết cấu nhẹ, có khả năng chịu được độ biến dạng lớn và không cần phải xây dựng nền móng bê tông được giới thiệu để giải quyết các vấn đề nêu trên. Tính hợp lý của phương pháp thiết kế, biện pháp thi công cũng như các đặc tính nổi bật trong quá trình sử dụng của loại ống thép lượn sóng này sẽ được chứng minh qua các thí nghiệm và một số ví dụ thực tế tại Nhật Bản.

Từ khóa: *ống thép lượn sóng, công chui dân sinh, công ngang, đường ô tô*

Abstract: Recently, many highways are constructed in Vietnam. Therefore, lots of underpass systems using horizontal culvert are needed to ensure traffic crossing highways and also to transverse drainage. In Vietnam, underpass and culvert have been constructed mainly by heavy weight reinforce concrete, which takes long time for construction of foundation and results in unequal settlement phenomenon on the embankment surface, especially in weak ground area. In this paper, corrugated steel pipe with light weight structure, which can stand large deformation even without concrete foundations is introduced and address the above issues. The reasonable design and construction methods, as well as new features in the use of corrugated pipe will be proved by some experiments done and practical examples existing in Japan

Key words: *corrugated steel pipe, underpass, transverse culvert, highway*

I. Giới thiệu về loại ống thép lượn sóng

Thép hình lượn sóng ra đời từ những năm 1890 tại Mỹ. Thép tấm mỏng được gia công lượn sóng đảm bảo gia tăng cường độ và nhẹ nên dễ dàng thi công, vận chuyển cũng như nổi trội ở tính kinh tế. Vào khoảng năm 1958, công nghệ này bắt đầu du nhập vào Nhật Bản, sau đó nhanh chóng được sử dụng rộng rãi. Ngoài đường thoát nước, đường hầm giao thông dân sinh còn một số thể loại công trình như bể cốt liệu hình lượn sóng, bồn nước, máng nước chữ U..etc (Fig.1.1 – 1.4).



Fig. 1.1 Corrugated Drainage



Fig. 1.2 Water Supply Pipe



Fig. 1.3 Tunnel



Fig. 1.4 Water Tank

II. Nguyên lý hoạt động của ống thép lượn sóng và phương pháp thiết kế⁽¹⁾

Do ống hình lượn sóng mỏng nên có khả năng biến dạng theo tải trọng tập trung (đường kính theo phương chịu tải thu hẹp lại, đường kính theo phương trục tuyến mở rộng ra). Ống bị đất cát ở hai phía nén lại, áp lực đất theo phương trục tuyến tăng và kết quả là áp lực đất của phương chịu tải và trục tuyến trở về giá trị gần như nhau, đây chính là trạng thái tự cân bằng ổn định của lực tác dụng (Fig. 2.1 – 2.3). Do mô-men uốn hầu như không có, chỉ có lực trực tác dụng nên ống lượn sóng chịu được áp lực lớn.



Fig. 2.1 Loading force

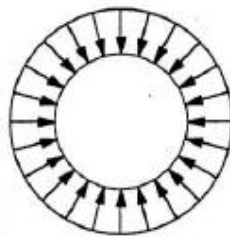


Fig.2.2 Soil pressure outside corrugated pipe

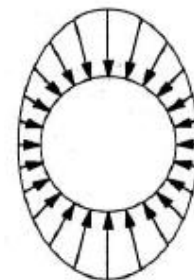


Fig. 2.3. Extra soil pressure in long term

Nếu mô phỏng ống thép lượn sóng bằng ống cao su, khi dùng hai ngón tay để bóp phần trên và dưới thì ống dễ dàng bị bẹp nhưng dù có nắm thật mạnh vào xung quanh thì ống lại không bị bẹp (Fig. 2.4). Đây là mô hình thể hiện rõ nguyên lý, độ bền của ống hình lượn sóng trong trạng thái làm việc. Tùy theo mục đích lắp đặt có thể chia ra ba loại ống thép lượn sóng theo bảng 2.1



a) Two points loading force b) Pressure on surface

Fig. 2.4 Principle of corrugated pipe

Bảng 2-1. Chủng loại và hình dạng của ống hình lượn sóng

Chủng loại		Hình sóng	Ký hiệu	Phạm vi kích thước	Chiều dày tấm thép sử dụng	Phương thức cốt nối	Khái quát
Hình dạng mặt cắt							
Hình tròn		Kiểu 1	SCP 1R	D300 ~ D1800	1.6, 2.0, 2.7, 3.2, 4.0	Bulong kiểu mặt bích	Dễ lắp ráp nên thường được dùng làm ống nước- thoát nước
		Kiểu 2	SCP 2R	D1250 ~ D4500	2.7, 3.2, 4.0, 4.5, 5.3, 6.0, 7.0	Bulong kiểu môi nối chồng	Dùng cho đường nước, giao thông có đường kính mở lớn
Hình Elip		Kiểu 3	SCP 2P	D2100 ~ D5800	2.7, 3.2, 4.0, 4.5, 5.3, 6.0, 7.0	Bulong môi nối chồng	Dùng cho đường nước, giao thông có đường kính mở lớn

2.1. Tải trọng tác dụng lên ống hình lượn sóng

2.1.1. Áp lực đất thẳng đứng (Fig. 2.5, Eq. 1)

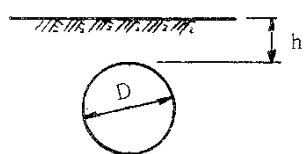


Fig. 2.5 Vertical force

$$W_D = \gamma \cdot h \quad (1)$$

W_D : Áp lực đất thẳng đứng (kN/ m²)

γ : Trọng lượng đơn vị của đất (kN/ m³)

h : Chiều dày đất phủ (m)

2.1.2. Tải trọng động

2.1.2.1 Tải trọng xe ô tô tác dụng lên phần đỉnh ống tính theo công thức (2):

$$W_L = \frac{1}{b} \left\{ \frac{2 \times P}{2.75} \times (1+i) \times \beta \right\} \quad (2)$$

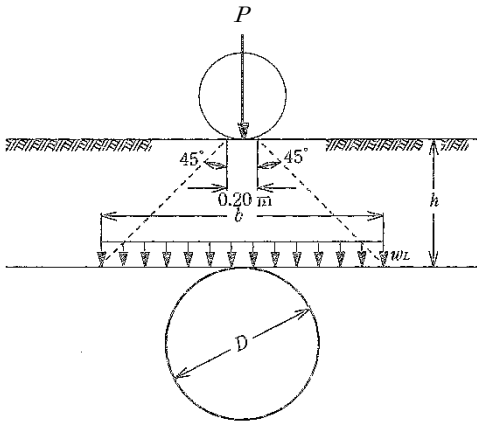


Fig. 2.6 Vehicle load

W_L : tải trọng phân bố tác dụng lên phần đỉnh ống (kN/m^2)

P : tải trọng bánh sau (t), (Fig. 2.6)

Khi tải trọng T (T- 25) thì $P = 100 \text{ kN}$

i : hệ số va chạm $h < 4.0 \text{ m}$, $i = 0.3$

$4.0 \text{ m} \leq h$, $i = 0$

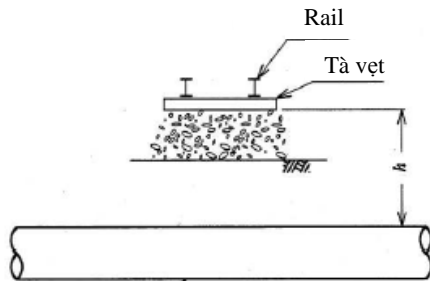
b : bề rộng phân bố tải trọng tại phần đỉnh ống của tải trọng xe ô tô (m) ($b = 2h + 0.2$)

β : hệ số giảm

$h \leq 1 \text{ m}$ và đường kính trong hoặc khoảng cách $\geq 4.0 \text{ m}$ - $\beta = 1.0$
ngoại trừ trường hợp trên - $\beta = 0.9$

2.1.2.2 Tải trọng xe lửa

Tải trọng tàu hỏa được yêu cầu phải tính toán ứng lực trong đất theo công thức Boussinesq trên nền đàn hồi đẳng hướng đẳng chất; tính toán có tính đến hệ số va chạm, hệ số hiệu chỉnh (theo tiêu chuẩn thiết kế Nhật bản, Fig. 2.7 và Eq. 3).



ống hình lượn sóng

Fig. 2.7 Train load

$$W_L = P_m (1 + i) (1 + \alpha) \quad (3)$$

W_L : tải trọng phân bố tác dụng lên phần đỉnh ống (kN/m^2)

P_m : tải trọng tàu hỏa (kN/m^2)

i : hệ số va chạm

α : hệ số hiệu chỉnh

2.2. Tính toán chiều dày tấm thép

Ghi chú: Dấu () trong bảng trên là lực nâng phân góc. (1) là trên $2.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, (2) là trên $3.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, (3) là trên $0.39 \text{ kgf}/\text{cm}^2$, (4) là trên $5.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$.

Bảng 2.2 Chiều dày thiết kế của ống thép lượn sóng kiểu 3 (SCP 2P, bảng 2.1) ⁽²⁾

Tên gọi	Độ sâu tối thiểu (m)	Độ sâu (m)								
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
2000	0.6	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	3.2(1)	3.2(2)
2300	0.6	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	2.7(1)	3.2(1)	3.2(2)	3.2(2)
2700	0.6	3.2(2)	3.2(1)	3.2(1)	3.2(1)	3.2(2)	3.2(2)	3.2(2)	3.2(2)	4.0(2)
3000	0.6	3.2(2)	3.2(1)	3.2(1)	3.2(1)	3.2(2)	3.2(2)	3.2(2)	4.0(2)	4.0(3)
3700	0.6	4.0(2)	4.0(2)	4.0(2)	4.0(2)	4.0(2)	4.0(2)	4.0(3)	4.5(3)	5.3(3)
4400	0.7	4.5(3)	4.5(2)	4.5(2)	4.5(2)	4.5(3)	4.5(3)	4.5(3)	5.3(4)	5.3(4)
5100	0.7	5.3(3)	5.3(3)	4.5(3)	4.5(3)	5.3(3)	5.3(4)	5.3(4)	5.3(4)	
5800	0.9	6.0(4)	6.0(3)	6.0(3)	6.0(3)	6.0(4)	6.0(4)			

Thông thường chiều dày thép sẽ được quyết định theo bảng thiết kế (ví dụ như bảng 2.2). Trường hợp phải tính toán thì xét tới bốn bước kiểm tra độ cứng như sau.

2.2.1 Xem xét độ cứng mặt cắt trong khi thi công (Eq. 4)

$$F.F = \frac{D^2}{EI} \text{ (mm/N)}$$

D: Đường kính ống hoặc khoảng cách (mm)

E: Hệ số đàn hồi của ống (N/ mm²)

2.2.2 Xem xét độ bền cốt nối theo phương trục (Eq. 5 và 6)

$$P = \frac{D}{2} (W_D + W_L) \quad (5)$$

P: Lực nén hướng tròn (kN/ m)

W_D: Áp lực đất thẳng đứng do tải trọng tĩnh (kN/ m²)

W_L: Áp lực đất thẳng đứng do tải trọng động (kN/ m²)

$$S.F < \frac{\sigma_y}{P} \quad (6)$$

D: Đường kính ống hoặc khoảng cách (mm)

σ_y: Độ bền cốt nối của ống hình lượn sóng (kN/ m)

S.F là hệ số an toàn. Độ bền cốt nối của ống hình lượn sóng được quy định theo kiểu và có tính đến hai dạng 1) vĩnh cửu hay 2) lắp đặt tạm thời

2.2.3 Xem xét sự cong vênh của mặt cắt lượn sóng (Eq. 7)

$$\text{Khi } D \leq \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \quad f_c = f_u - \frac{f_u^2}{48E} \left(\frac{KD}{r} \right)^2 \leq f_y \quad (\text{kN/ m}^2)$$

Nếu $f_c > f_y$ thì $f_c = f_y$

$$\text{Khi } D > \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \quad f_c = \frac{12E}{\left(\frac{KD}{r} \right)^2} \leq f_y \quad (\text{kN/ m}^2)$$

Nếu $f_c > f_y$ thì $f_c = f_y$

$$S.F < \frac{f_c \times A_c}{P} \quad (7) \quad (\text{Trong đó, } P = \frac{D}{2} (W_D + W_L) \text{ (kN/ m)})$$

f_c : ứng lực cong vênh (kN/ m²); f_u : độ bền căng của thép (kN/ m²)
 f_y : điểm uốn của thép (kN/ m²); E : hệ số đàn hồi của thép (kN/ m²)
 r : bán kính thứ cấp mặt cắt của mặt cắt (m); D : đường kính ống (m)
 P : lực nén hướng tròn (kN/ m); k : hệ số độ cứng của đất

2.2.4 Xem xét sự uốn cong của ống hình lượn sóng (Eq. 8)

$$\eta = F_d \cdot F_k \frac{W r^3}{EI + 0.061 E' \cdot r^3} \quad (8)$$

η : độ võng của phương nằm ngang (m)

F_d: Hệ số từ biên của đất; F_k: Hằng số theo góc lắp đặt

r: Bán kính ống (m); E : hệ số đàn hồi của thép (kN/ m²)

I : hệ số mô-men mặt cắt của ống (m⁴/ m)

W: Tải trọng thẳng đứng theo chiều dài đơn vị của ống

$$= 2 \cdot r (W_D + W_L) \text{ (kN/ m)}$$

ở đây E' tính theo Eq. 9

$$E' = \frac{E_s}{2(1 - \mu^2)} \quad (9)$$

W_D: Áp lực đất thẳng đứng do tải trọng tĩnh (kN/ m²)

W_L: Áp lực đất thẳng đứng do tải trọng động (kN/ m²)

E_s: Hệ số biến dạng của đất (kN/ m²)

μ: Hệ số Poisson (= 0.5)

III. Thí nghiệm hiện trường ⁽³⁾

3.1 Điều kiện thí nghiệm

Hình vẽ thể hiện các vị trí mặt cắt A và B. Các lớp đất được đắp theo từng bước, chiều dày lớp đất ứng với một bước là 20cm, mật độ đất khô ít nhất 95% (với lớp đắp dày 30cm thì mật độ khô phải đạt ít nhất 90%). Đất đắp tới chiều cao 4m tính từ đỉnh vòm.

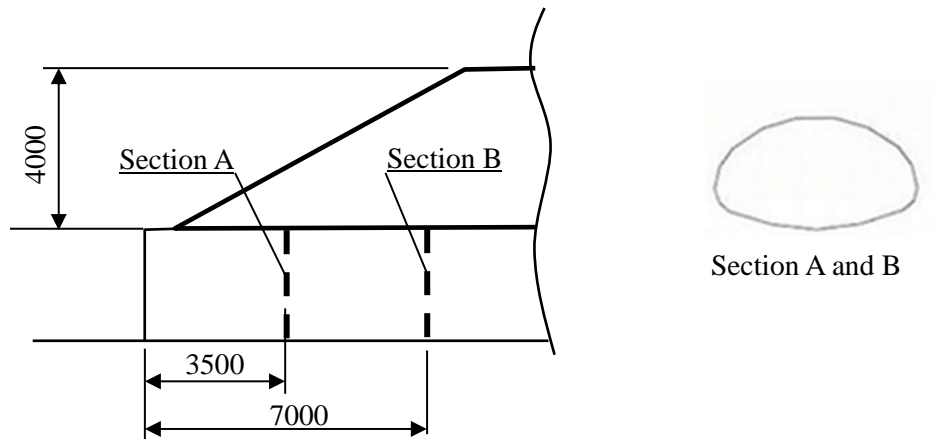


Fig. 3.1 Full scale experiment of culvert

Quá trình lắp dựng thí nghiệm được thể hiện trong Fig. 3.2



(a) Connexion of waveform plate

(b) Setting measuring equipment



(c) Covering rock soil

(d) After completion

Fig. 3.2 Construction progress of full scale experiment of culvert

3.2 Kết quả thí nghiệm

3.2.1 Chuyển vị ở đỉnh theo thời gian

Fig. 3.3 thể hiện chuyển vị của đỉnh ống lượn sóng theo chiều thẳng đứng. Từ khi bắt đầu lên đất ở bước 3 cho đến bước 32 (đất lên hai bên đạt cao trình bằng đỉnh ống), đỉnh ống bị biến dạng dịch chuyển lên trên dưới áp lực ngang (trọng lượng đất hai bên và máy móc thi công). Từ bước 32 trở đi, nhờ việc đắp đất lên trên đỉnh ống, có thể thấy đỉnh ống dịch chuyển xuống dưới trở về vị trí ban đầu.

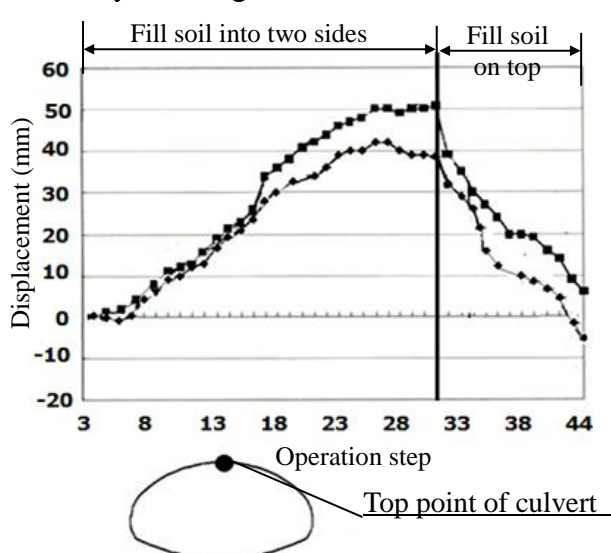


Fig. 3.3 Displacement at top of culvert

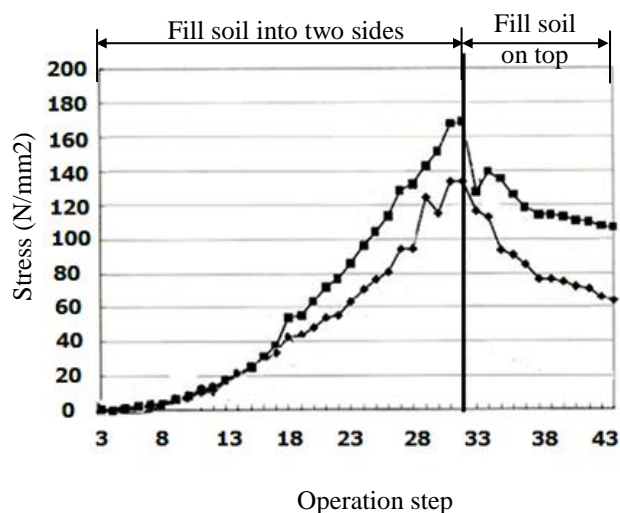


Fig. 3.4 Stress at top of culvert

Fig. 3.4 thể hiện sự thay đổi ứng suất uốn của đỉnh ống theo thời gian. Mặt cắt B chịu tải trọng đất dày hơn mặt cắt A vì thế có ứng suất đất lớn hơn. Trong quá trình lên đất ứng suất uốn tại đỉnh tăng từ 0 đến 130N/mm^2 tại mặt cắt A và 170N/mm^2 tại mặt cắt B. Sau đó giảm dần dưới ảnh hưởng đất đắp.

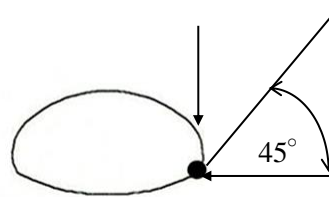
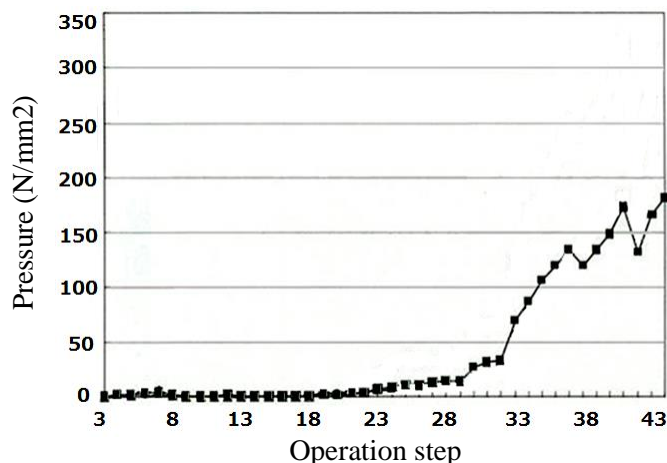


Fig. 3.5 Soil pressure in bottom right of culvert

Fig. 3.5 cho thấy sự thay đổi áp suất ở điểm bên phải phía dưới 45° của mặt cắt B. Vị trí này chịu áp lực đất lớn nhất. Áp suất tại đây bắt đầu tăng từ khi lên đất ngang hai bên thành ống và đột ngột tăng mạnh từ bước 32 khi bắt đầu đắp đất trên đỉnh ống.

3.2.2 Kết quả thí nghiệm phá hủy

Trong thí nghiệm này, sau khi hoàn thành đắp đất 4m trên đỉnh ống, đất ở một bên ống bị đào để tạo chênh lệch áp lực tác dụng lên ống (Fig. 3.6 và 3.7). Mục đích của thí nghiệm này là để biết trạng thái làm việc của ống dưới tác động áp lực đất không đều (trạng thái thường xảy ra dưới quy trình thi công hay thiết kế sai). Sau khi đào đất 1 bên, đỉnh ống từ từ lún xuống. Khi đào đến vị trí cách mặt bên của ống 1m thì ống bị móp hoàn toàn (Fig 3.7). Từ thí nghiệm này có thể thấy, ống chịu lực rất tốt nếu trạng thái áp lực đất xung quanh phân bố đều và chỉ chịu phá hoại hư hỏng khi một bên mái đất bị đào moi hầu như hoàn toàn (Fig. 3.6, điều này có lẽ khó xảy ra trong thực tế).

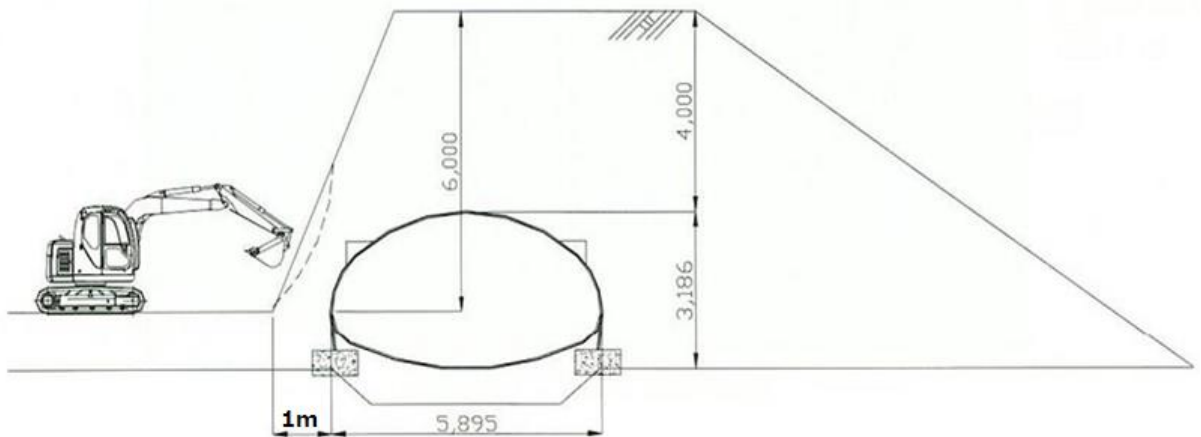


Fig. 3.6 Destruction experiment of culvert



Fig. 3.7 Destruction of slope



Fig. 3.8 Deformed culvert

VI. Khả năng ứng dụng tại Việt nam

Với cấu tạo thép mỏng, hình dạng gân lượn sóng tạo độ cứng chịu lực cao, ống lượn sóng có thể được lắp đặt sâu dưới lớp đất đắp phía trên đồng thời không cần phải thi công móng bê tông. Đây là điểm nổi trội so với cống bê tông truyền thống. Đặc biệt tại một số vùng đất yếu, nếu sử dụng cống bê tông trên nền được cải tiến sẽ dễ gây ra hiện tượng sau một thời gian vận hành, phần lắp đặt cống bê tông sẽ nhô cao tạo bậc thang lún không đều so với phần nền đất đắp bị lún thấp theo thời gian (Fig. 4.1). Fig 4.2 cho thấy vị trí mặt đường tại nơi sử dụng cống lượn hoàn toàn bằng phẳng, không phát sinh lún không đều, lún bậc thang.



Fig. 4.1 Concrete culvert and unequal settlement on road surface (Hochiminh City)

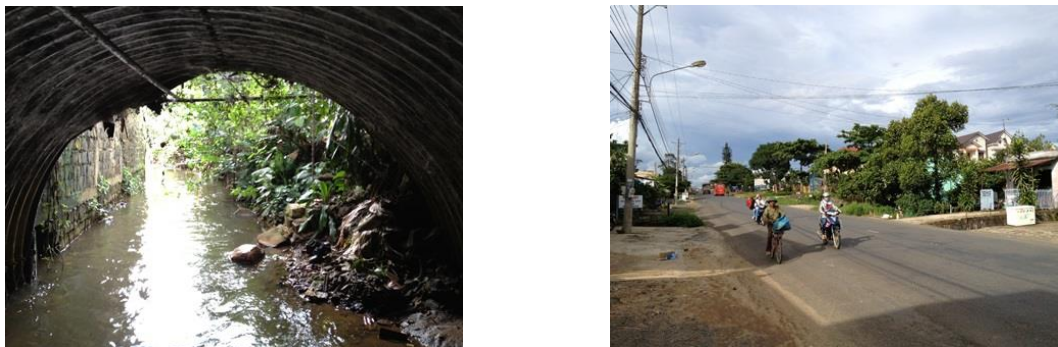


Fig. 4.2 Steel corrupted culvert (Lam Dong Prefecture)

V. Kết luận

Ống thép lượn sóng có kích thước mỏng nhẹ, có thể dễ dàng thiết kế theo bảng tiêu chuẩn có sẵn. Việc thi công cũng thuận tiện với các tấm mỏng có thể dễ dàng vận chuyển và lắp ghép tại hiện trường. Hình dạng ống tạo nguyên lý tự cân bằng bền vững đối với áp lực đất hướng tâm xung quanh. Các thí nghiệm thực tế tại Nhật bản đã chứng minh nguyên lý và sự bền vững này. Ở Việt nam, một số cống loại này đã được lắp đặt trong những năm 60 tại miền nam và hiện vẫn làm việc rất tốt cũng là những minh chứng cho tính ưu việt của thể loại cống này.

Trong giai đoạn mở rộng xây mới nhiều hệ thống đường giao thông, quy hoạch đô thị hay các khu công nghiệp, với các ưu điểm nhanh, nhẹ, rẻ và thuận tiện cống lượn sóng thócó thể là một giải pháp thích hợp, cần được nghiên cứu thêm để sớm có thể áp dụng vào thực tế.

VI. Tư liệu tham khảo

- 1) Cẩm nang hướng dẫn về cống lượn sóng, Hội địa kỹ thuật nhật bản xuất bản lần 3, 2010.
- 2) Sách giới thiệu về các thể loại cống lượn sóng, Công ty TNHH Nippon Steel & Sumikin Metal Products (JIS G 3471), 2013.
- 3) Cẩm nang hướng dẫn thiết kế ES culvert, hiệp hội kỹ thuật cống lượn sóng, 2004.