ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ
και ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ υπο ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Θ. Π. Τάσιος

Περιεχόμενα

1. Η θεμελιώδης σημασία του θέματος
2. Η αντοχή f_{wc} υπο στατικές συνθήκες
   - Η φυσική σύνθεση της τοιχοποιίας
   - Η τυπική θεωρία αντοχής σε μοναξονική θλίψη («ενδογενή» πεδία τάσεων)
     - (i) Ασυμβατότητα εγκάρσιων παραμορφώσεων
     - (ii) Σημειακή στήριξη λίθων
   - Η πλοκή λιθοσωμάτων
     - (i) εν επιπέδω
     - (ii) εγκαρσίως
   - «Εξωγενή» πεδία τάσεων
3. Η τρίστρωτη τοιχοποιία
4. Η f_{wc} υπο επαναλαμβανόμενη θλίψη
5. Παραμορφωσιμότητα
   - Ελαστικά μέτρα
   - Κρίσιμες παραμορφώσεις ε_{wcu}
   - Στροφική ικανότητα «θ_u» τοιχοπεσσών και υπεραθυρόδισκων.

1. Η ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Όλες οι **εξεζητημένες** Αναλύσεις καταλήγουν σε δρώντα μεγέθη (λ.χ. M_S ή $\theta_{\alpha\pi}$)

τα οποία οφείλουν ΟΥΤΩΣ ή ΑΛΛΩΣ να συγκριθούν με διαθέσιμα μεγέθη λ.χ.

$\mathbf{f_{wc}}$ ή $\boldsymbol{\varepsilon_{wc}}$ («αντιστάσεις»)

Αναρμονική εφαρμογή της βασικής ανίσωσης ασφαλείας S > R !

Είναι **κωμική** η εικόνα Μελετών που συγκρίνουν τιμές «S» απο «πεπερασμένα στοιχεία υπο δυναμική ένταση» (?), με «R» απο πανάθλιες εμπειρικές φόρμουλες!

Αιδώς Αργείοι…

«Πηγές» αντοχής f_{wc} ασυνεχούς υβριδικού μέσου

(κατα εικαζόμενη σειρά σπουδαιότητας)

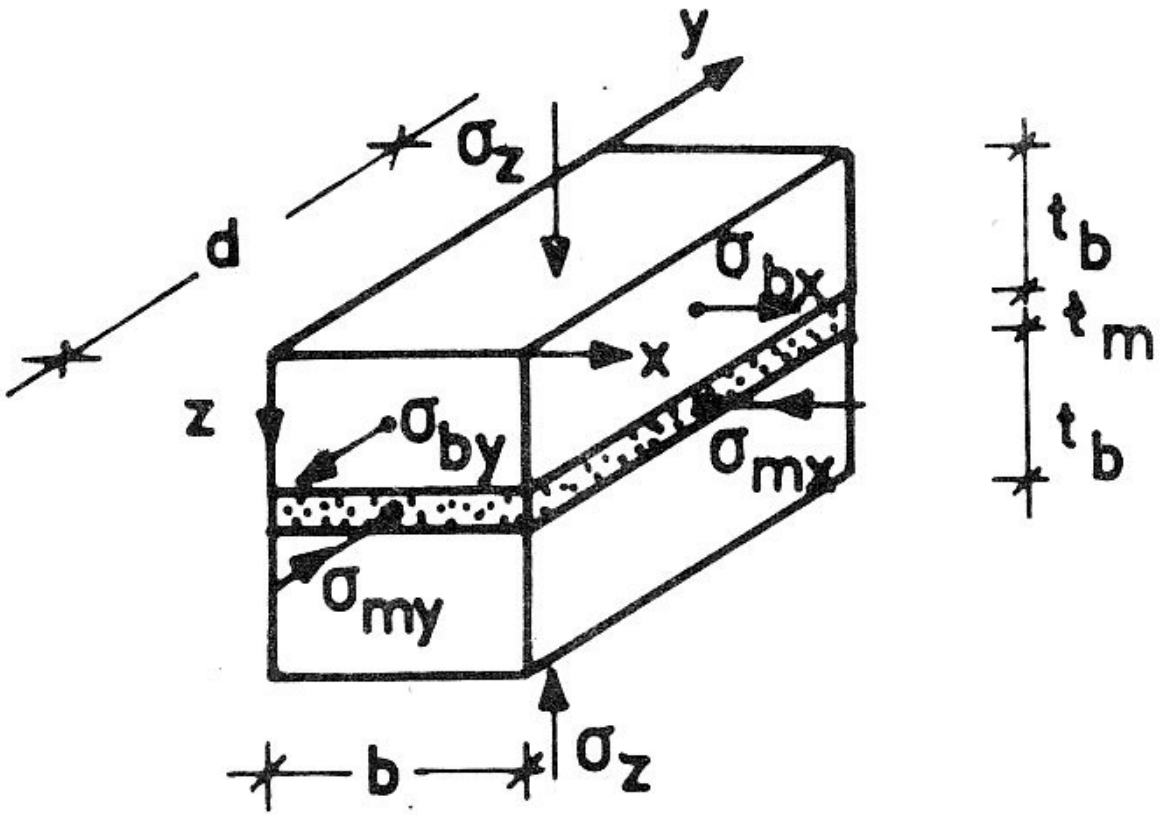
- Πλοκή λιθοσωμάτων εγκαρσίως
- Πλοκή λιθοσωμάτων εν επιπέδω
- Αντοχή λιθοσώματος
- Βαθμός λάξευσης εδρών λιθοσώματος
- Ανηγμένο πάχος αρμού στρώσεων
- Γέμισμα κατακορύφων αρμών
- Αντοχή κονιάματος

Παρατήρηση πρώτη

- «Γνώση της υπο εξέταση τοιχοποιίας» σημαίνει να έχομε **μετρήσει** τις επτά αυτές παραμέτρους, ποσοτικώς ή έστω κατα κλάσεις.
- Το προσομοίωμα πρόβλεψης μηχανικών ιδιοτήτων τοιχοποιίας **οφείλει** να περιλαμβάνει ό λ ε ς αυτές τις παραμέτρους. Άλλως, ανησυχείτε…
- Και μήν ξεχνάτε οτι πλείστες μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας εκφράζονται (προσεγγιστικώς έστω) συναρτήσει της αντοχής της σε θλίψη!

2. Η ΑΝΤΟΧΗ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Υπεραπλοποιημένη θεωρία πρόβλεψης f_{wc} για λαξευμένα λιθοσώματα («τούβλα») με κονίαμα, με ελαστική συμπεριφορά και πλήρη πλοκή λιθοσωμάτων. Θα ξεκινήσομε μ' αυτήν, και θα προσπαθήσομε να τροποποιούμε (θεωρητικώς ή εμπειρικώς) τ' αποτελέσματά της.



Σχ. 2.1: Τάσεις σε στοιχείο τοιχοποιΐας λόγω εξωτερικής θλιπτικής εντάσεως

Για την εντατική κατάσταση του πρίσματος οι εγκάρσιες παραμορφώσεις για το τούβλο (κατά τις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα), είναι

$$\varepsilon_{bx} = \frac{1}{E_b}\left[\sigma_{bx} + v_b(\sigma_z - \sigma_{by})\right]$$

$$\varepsilon_{by} = \frac{1}{E_b}\left[\sigma_{by} + v_b(\sigma_z - \sigma_{bx})\right]$$

Ομοίως για το κονίαμα

$$\varepsilon_{mx} = \frac{1}{E_m}\left[-\sigma_{mx} + v_m(\sigma_z + \sigma_{my})\right]$$

$$\varepsilon_{my} = \frac{1}{E_m}\left[-\sigma_{my} + v_m(\sigma_z + \sigma_{mx})\right]$$

όπου E_b και E_m είναι τα μέτρα ελαστικότητας για το τούβλο και το κονίαμα αντίστοιχα, και v_b και v_m οι αντίστοιχοι λόγοι Poisson.

Οι εγκάρσιες παραμορφώσεις είναι ίσες για το τούβλο και το κονίαμα:

$\varepsilon_{bx} = \varepsilon_{mx}$

$\varepsilon_{by} = \varepsilon_{my}$

Η ισορροπία απαιτεί η ολική εφελκυστική πλευρική δύναμη για το τούβλο να είναι ίση με την ολική θλιπτική πλευρική δύναμη για το κονίαμα, καί κατά τις δύο διευθύνσεις x και y, δηλαδή:

$\sigma_{bx} \cdot d \cdot t_b = \sigma_{mx} \cdot d \cdot t_m \rightarrow \sigma_{bx} = \alpha.\sigma_{mx}$ όπου $\alpha = t_m:t_b < 1$

$\sigma_{by} \cdot b \cdot t_b = \sigma_{my} \cdot b \cdot t_m \rightarrow \sigma_{by} = \alpha.\sigma_{my}$

Με επεξεργασία των εξισώσεων παραμορφώσεων και τάσεων προκύπτει:

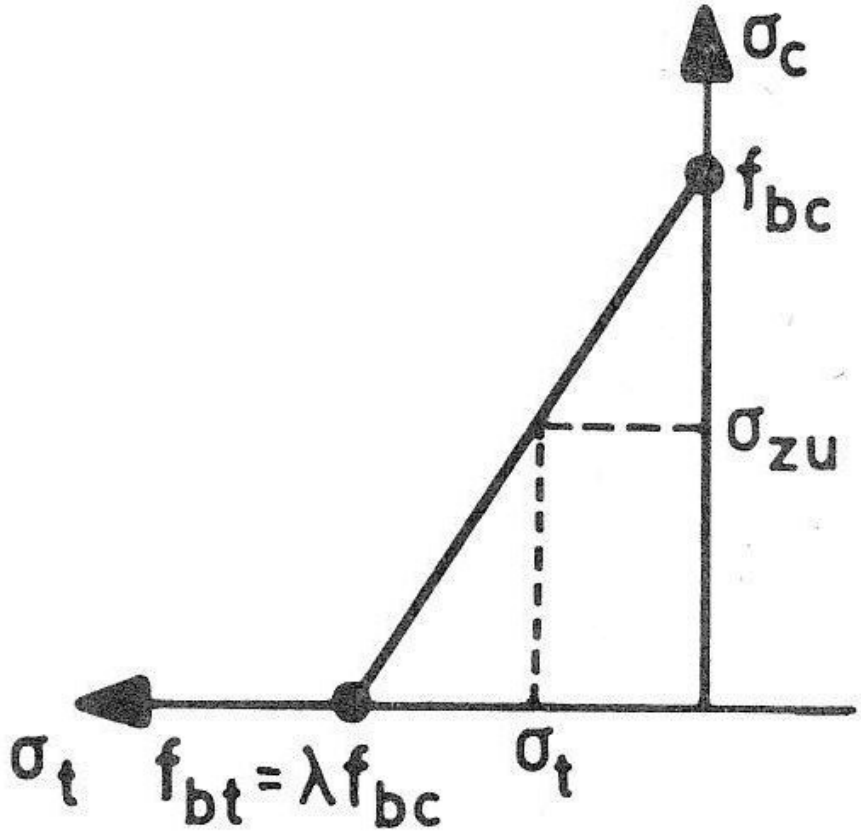
$$\sigma_{bx} = \sigma_{by} = \times \sigma_{z} \frac{\alpha\left(\nu_m - \beta\nu_b\right)}{1 + \alpha\beta - \nu_m - \alpha\beta\nu_b} \qquad (2.2.1)$$

όπου $\beta = E_m : E_b < 1$

Μείωση της θλιπτικής αντοχής λιθοσώματος λόγω εγκάρσιας εφελκυστικής τάσεως.

Η παρουσία της σ_{bx} μειώνει την τιμή της σ_z (σ_{zu}) για την οποία παρατηρείται «θλιπτική» αστοχία. Αν υποτεθεί οτι ισχύει γραμμική σχέση μεταξύ ελκυστικών και θλιπτικών τάσεων για το λιθόσωμα (Σχ. 2.2), τότε

$$\frac{\sigma_{zu}}{f_{bc}\lambda} + \frac{\sigma_t}{f_{bc}} = 1 \qquad \lambda = f_{bt} : f_{bc} \qquad (2.2.2)$$



Σχ. 2.2: Καμπύλη αστοχίας λιθοσώματος που υπόκειται σε διαξονική θλίψη-εφελκυσμό

Για $\sigma_{zu} = f_{wc}$ με την βοήθεια των σχέσεων (2.2.1) και (2.2.2), προκύπτει:

$$\frac{f_{wc}}{f_{bc}} = 1 : \left\{ 1 + \frac{\alpha \left(\nu_m - \beta \nu_b \right)}{\lambda \left[1 + \alpha \beta - \nu_m - \alpha \beta \nu_b \right]} \right\} \qquad (2.2.3)$$

Εξάρτηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας από τον λόγο πάχος αρμού προς ύψος λιθοσώματος

Ενδεικτική αριθμητική εφαρμογή της σχέσεως (2.2.3) για δύο ποιότητες κονιάματος:

(1) Γερό κονίαμα: $\beta = 1:3$

$v_b = 0.15$

$v_m = 0.25$

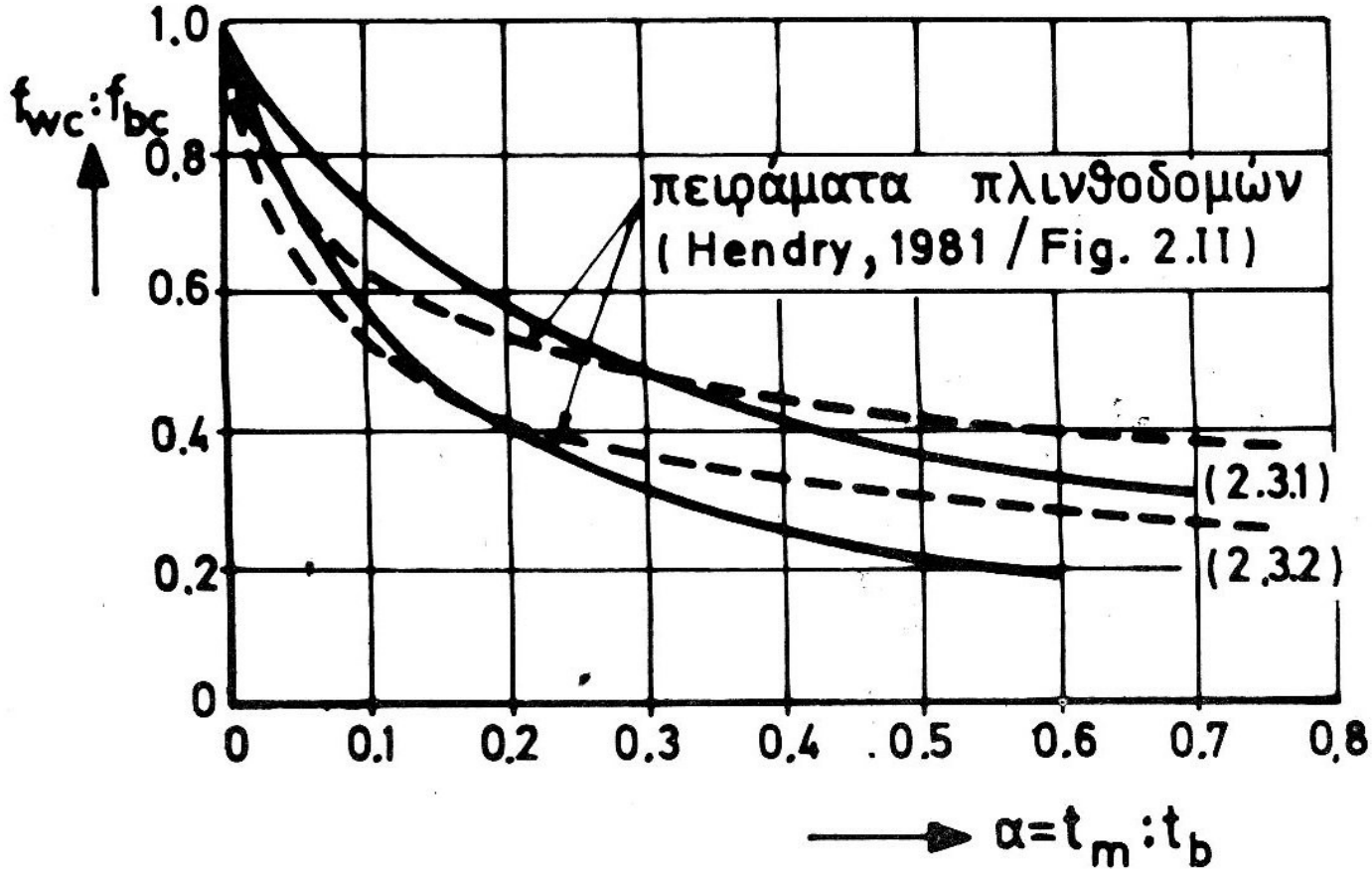
$\lambda = 1:15$

(2) Μαλακό κονίαμα: $\beta = 1:10$

$v_b = 0.15$

$v_m = 0.35$

$\lambda = 1:15$



Σχ. 2.3: Επίδραση του λόγου πάχος αρμού/ύψος λιθοσώματος στην θλιπτική αντοχή της τοιχοποιΐας

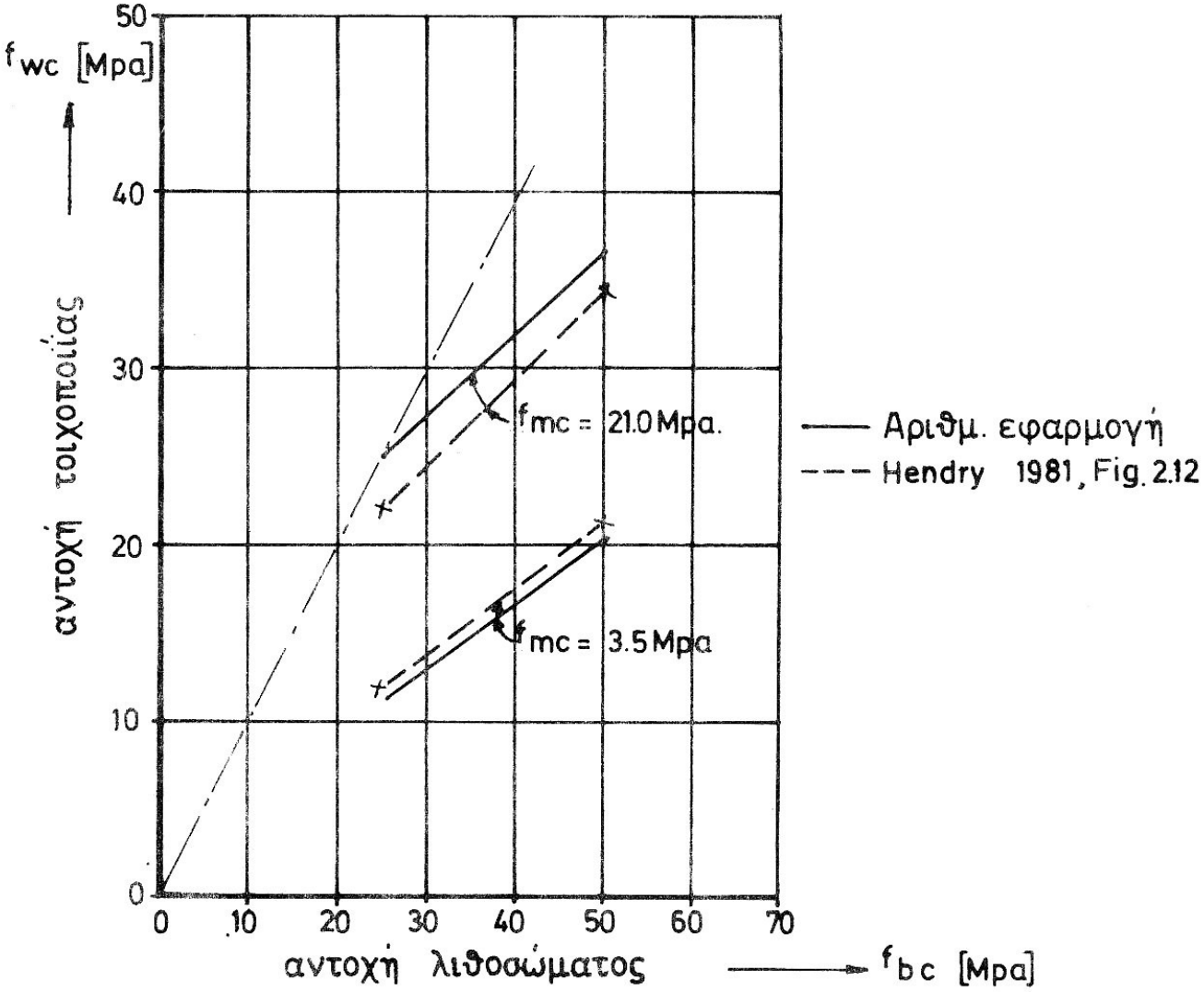
Θεωρητική σχέση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας με τις θλιπτικές αντοχές των υλικών-της

Επεξεργασία της σχέσεως (2.2.3):

$$\frac{f_{wc}}{f_{bc}} = 1 : \left[1 + \frac{\alpha(v_m - \beta v_b)}{\lambda(1+\alpha\beta - v_m - \alpha\beta v_b)}\right]$$

$$\text{ή} \quad \frac{f_{wc}}{f_{bc}} = 1 : \left[1 + \frac{\alpha}{\lambda}\xi\right] \qquad \alpha\beta \cong 0 \qquad (2.4.1)$$

$$\text{όπου} \quad \xi = \frac{v_m - \beta v_b}{1 - v_m} \nless 0$$



Θεωρητική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας συναρτήσει των αντοχών λιθοσώματος και κονιάματος.

Υπενθύμιση

Η προηγηθείσα ανάλυση ισχύει για τοιχοποιίες μεγάλης αντοχής, με λαξευμένα λιθοσώματα. Και αναλύει **μόνον έναν** μηχανισμό αστοχίας – λόγω εγκάρσιου εφελκυσμού προκαλούμενου απ’ το κονίαμα των αρμών.

Αντίστοιχη εμπειρική έκφραση για οπτοπλινθοδομή καλής πλοκής

$$f_{wc} = f_{mc} + 0,4\left(f_{bc} - f_{mc}\right) \times \left(1 - 0,8\sqrt[3]{a}\right), f_{bc} > f_{mc}$$

$$f_{wc} = f_{bc} \times \left(1 - 0,8\sqrt[3]{a}\right), \quad f_{bc} < f_{mc}$$

$$a = t_m : t_b$$

[Tassios, 1988]

Στην περίπτωση **Αλάξευτων** λιθ/των, θα μπορούσε να περιγραφεί ενας άλλος μηχανισμός αστοχίας (βλ. Σχ.) λίθου, λόγω σημειακής στήριξης.

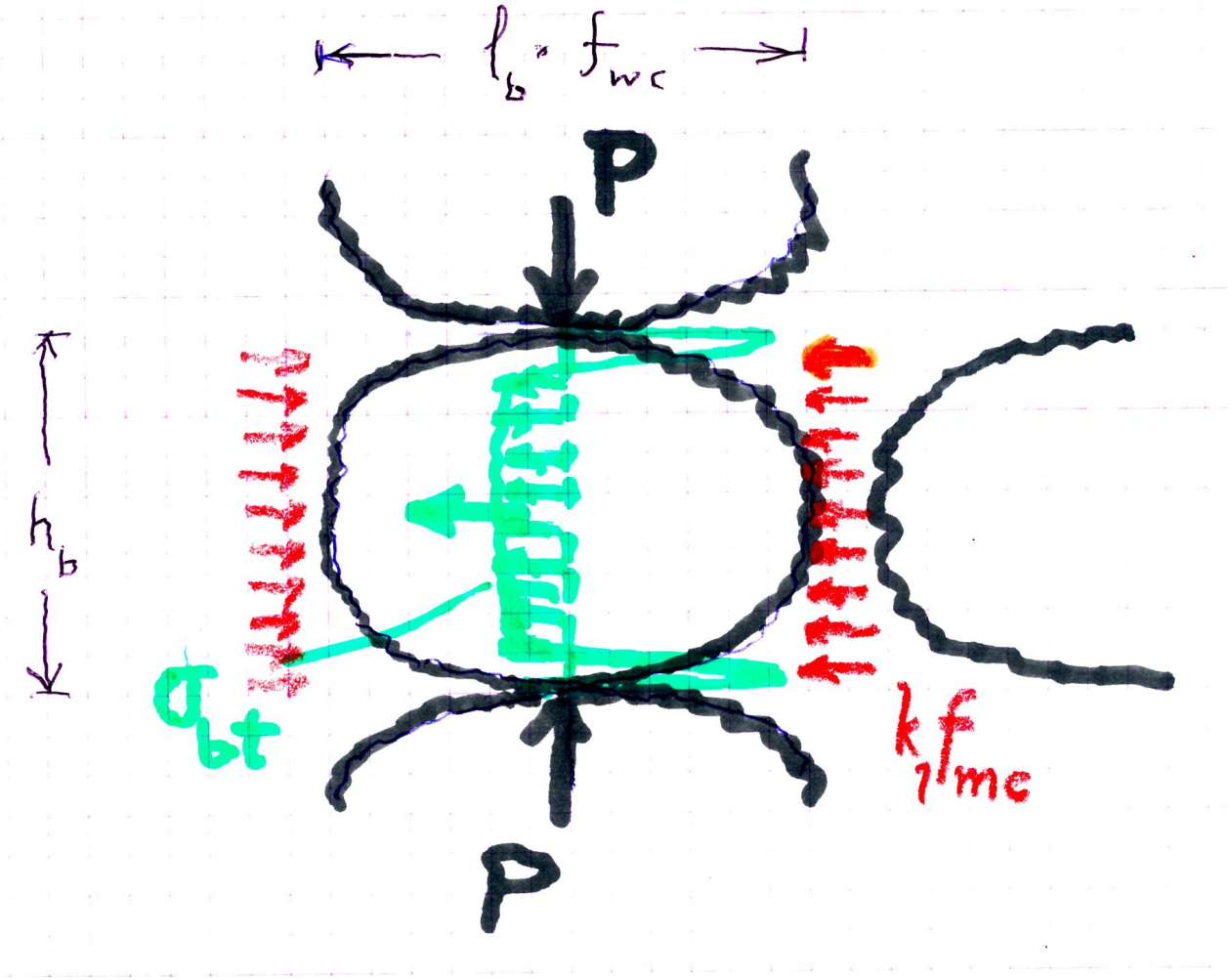
$$\sigma_{bt} \approx \frac{2P}{3h_b \text{X1}} \qquad \sigma_{bt} \cong f_{bt} + k_1 f_{mc}$$

$$P = \frac{3}{2} h_b \left(f_{bt} + k_1 f_{mc} \right) = l_b f_{wc}$$

$$f_{wc} = \frac{3}{2} \frac{h_b}{l_b} \left(f_{bt} + k_1 f_{wc} \right)$$

$$\frac{h_b}{l_b} \approx \frac{2}{3} \qquad f_{bt} \approx \frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} \quad (MPa)$$

Επομένως: $$f_{wc} \approx \frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} + k_1 f_{mc}$$



Αδρομερής παράσταση αστοχίας αλάξευτων λιθοσωμάτων λόγω **τυχηματικής σημειακής** στήριξης λίθων. (Φαίνεται και ο ευνοϊκός ρόλος του αμφοτερόπλευρου κονιάματος, του οποίου επιστρατεύεται η θλιπτική αντίδραση, η οποία αυξάνει την εφελκυστική αντίσταση του λίθου).

Εμπειρική διόρθωση

α) Πρόταση «**γενίκευσης**» του φαινομένου, που οδηγεί σε ταχύτερη αστάθεια της μάζας: Μείωση αντοχής κατά f_{wco}, σχεδόν μηδενική για οιονεί-λαξευμένα, και μεγαλύτερη για αλάξευτα λιθοσώματα.

β) Ο δυσμενής ρόλος των **υπερβολικών** παχών αρμού κονιάματος, κατα το προσομοίωμα της διαφ. αρ. 8

Μια τελική ημι-εμπειρική έκφραση. Ισχύει για συνήθη εμπλοκή λίθων (Τάσιος, Χρονόπουλος, 1986)

$$f_{wc} = \left(\frac{2}{3}\sqrt{f_{bc}} + k_1 f_{mc} - f_{wco}\right) : \left(1 + 3{,}5\left(\frac{V_m}{V_w} - 0{,}3\right)\right)$$

1η διόρθωση

2η διόρθωση

μονάδες αντοχών [MPa]

k_1 = 0,6 αλάξευτα, 0,2 ημιλαξευμένα

f_{wco} = 2,5 αλάξευτα, 0,5 ημιλαξευμένα

V_m = όγκος κονιάματος εντός όγκου τοιχοποιίας V_w

$V_m : V_w < 0{,}3$

Πλοκή λιθοσωμάτων εν επιπέδω

Μια παράμετρος πολύ μεγάλης δομητικής σημασίας για τη διαμόρφωση του **ενδογενούς** πεδίου των τάσεων στην μεσοκλίμακα.

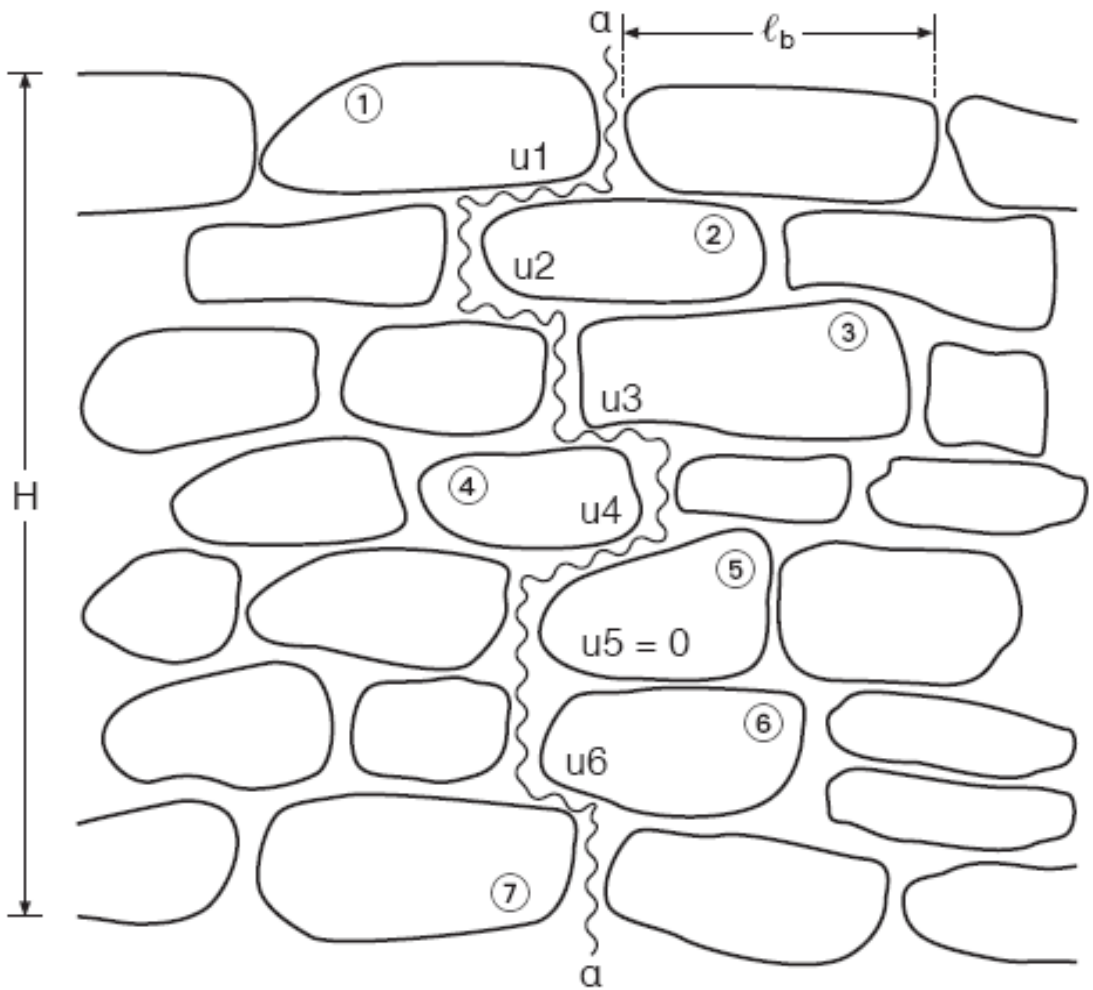
Ακολουθεί μια υπεραπλοποιημένη διερεύνηση του φαινομένου.

Δείκτης «πλοκής» εν επιπέδω

Βλ. Σχ. διαφ. 27

$$\delta_{pl} = \frac{2}{n} \varepsilon_{1}^{n} \left(u_i : l_{bi} \right)$$

$$0 \leq \delta_{pl} \leq 1$$


a
ℓ_b
H
1
u1
2
u2
3
u3
4
u4
5
u5 = 0
6
u6
7
a

Θα θεωρήσομε ως εκτιμήτρια μεταβολής της αντοχής τοιχοποιίας την μεταβολή της θλιπτικής τάσης “σ_{wr}” που προκαλεί κατακόρυφη ρηγμάτωση της τοιχοποιίας

(**Ανεπαρκής** προσέγγιση· θέμα σπουδαίας μελλοντικής έρευνας)

Για τιμή δ_{pl} = 0 (Σχ. διαφ. 30α)

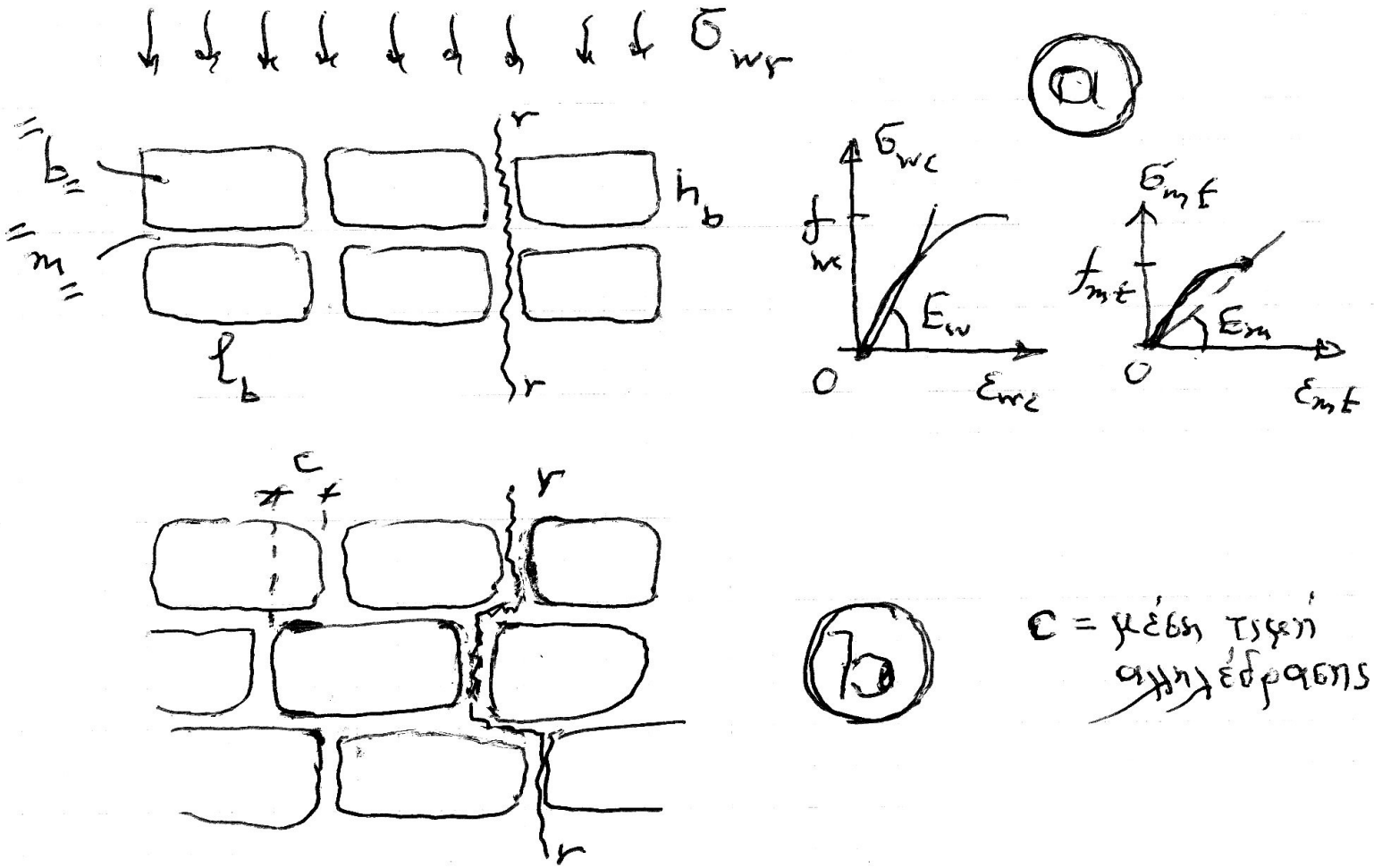
Εγκάρσια παραμόρφωση κονιάματος $\frac{f_{mt}}{E_m}$

Εγκάρσια παραμόρφωση τοίχου $\nu_w \times \frac{\sigma_{wr}}{E_w}$

Κατακόρυφη ρηγμάτωση $\frac{f_{mt}}{E_m} = \nu_w \times \frac{\sigma_{wr}}{E_w}$

(ασυμβατότητα παραμορφώσεων)

Επομένως $\sigma_{wr} = \frac{1}{\nu_m} \times \frac{E_w}{E_m} \times f_{mt}$



Σχηματική παράσταση κατακόρυφης ρηγμάτωσης τοίχου εν επιπέδω, λόγω θλιπτικής τάσης σ_{wr}

Για τιμή $0 < \delta_{pl} < 1$ (Σχ. διαφ. 30β)

Οριζόντια δύναμη που ανθίσταται στην κατακόρυφη ρηγμάτωση:

$$F = f_{mt} \times H + \frac{H}{h_b} \times \mu \, \sigma_{wr} \times c$$

$$\delta_{pl} = 2\frac{c}{l_b}, \qquad c = \delta_{pl} \times \frac{l_b}{2}$$

Οιονεί αυξημένη εφελκυστική αντοχή κονιάματος:

$$F : H = f_{mt} + \mu \times \sigma_{wr} \times \frac{c}{h_b}$$

Οπότε

$$\frac{1}{E_m}\left\{ f_{mt} + \mu \, \sigma_{wr} \times \frac{c}{h_b} \right\} = V_m \times \frac{\sigma_{wr}}{E_w}$$

ή

$$\sigma_{wr} = \sigma_{wr} : \left\{ 1 - \frac{\mu}{V_m} \times \frac{E_w}{E_m} \times \frac{c}{h_c} \right\}$$

όπου μ = συντελεστής τριβής

Υιοθετούμε χοντρικά τον λόγο $\sigma_{wr}:\sigma'_{wr}$ ως διορθωτικόν συντελεστή της αντοχής «f_{wc}» έναντι πλημμελούς πλοκής εν επιπέδω.

$$k = \frac{\sigma_{wr}}{\sigma'_{wr}} = \left\{ 1 - \frac{1}{2}\frac{\mu}{\nu_m}\frac{E_w}{E_m} \times \frac{l_b}{h_b} \times \delta_{pl} \right\}$$

Ψευδοποσοτική προσέγγιση

$$\mu : 0,4 \qquad \nu_m = 0,4 \qquad E_w : E_m = 0,5$$

$$l_b : h_b = 2 \qquad \therefore \qquad k : 1 - \frac{\delta_{pl}}{2}$$

και $f_{wc}^{\acute{A}} : f_{wc} : k_2$

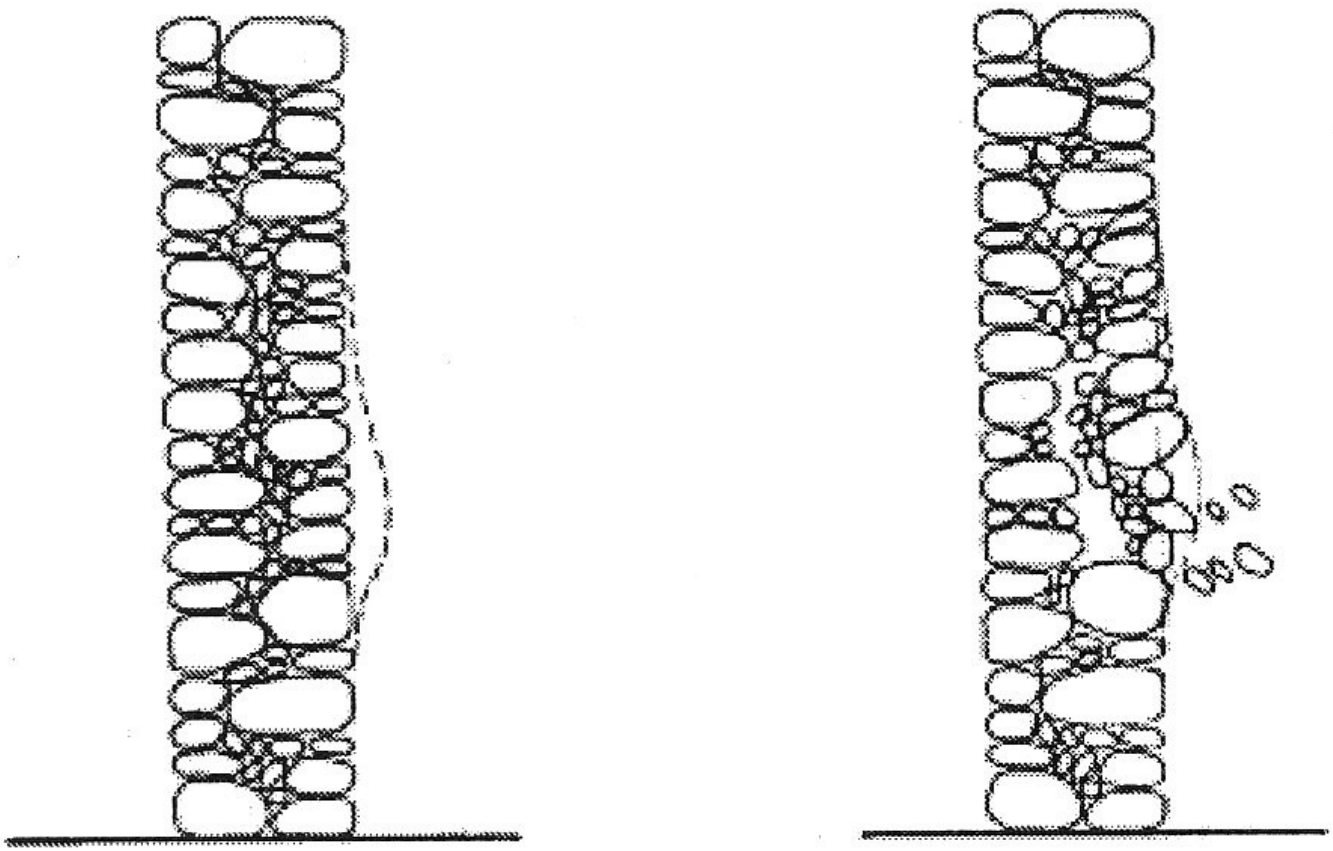
όπου $k_2 = 2\left(1 - \frac{\delta_{pl}}{2}\right)$ ⟵ χονδρική προσέγγιση

και f_{wc} όπως στη διαφ. 24

Η πλοκή κατα το πάχος του τοίχου

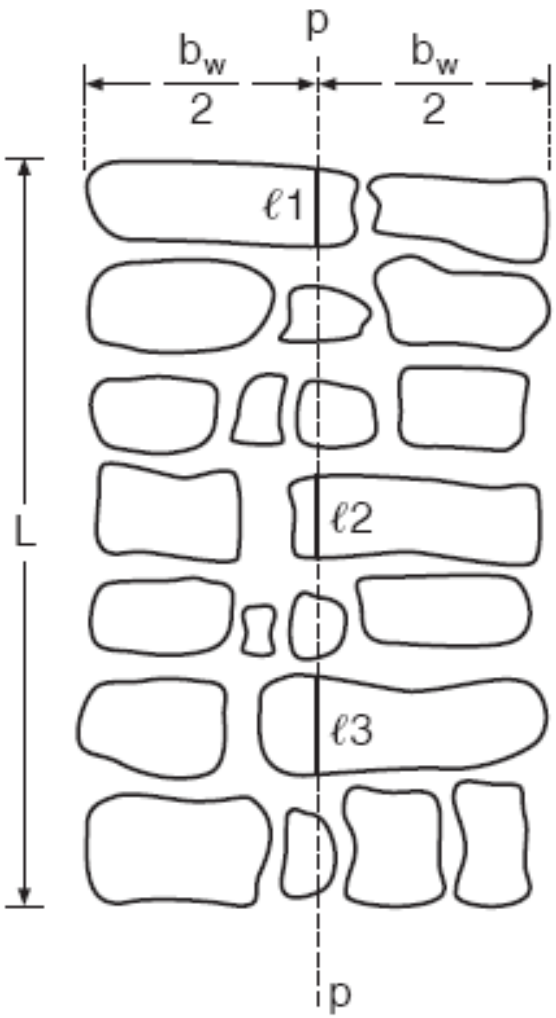
Παλαιότερα, το ζευγάρι οι χτιστάδες (που χτίζαν τον τοίχο μέσα-έξω) ήσαν συνήθως **μαλωμένοι**, και δέν «σταυρώναν» τις πέτρες τους, δηλ. δέν συνέδεαν την μέσα «παρειά» με την έξω.

Αποτέλεσμα: Ενδεχόμενες επικίνδυνες τοπικές αστάθειες λίθων ή και τοπικοί λυγισμοί «παρειάς» – δηλαδή μείωση αντοχής του όλου τοίχου, ακόμα κι όταν η τοιχοποιία ήταν απλώς **δίστρωτη**.



Ασταθής συμπεριφορά παρειάς 2-στρωτης (A. Giuffré)

Ορισμός ενος δείκτη εγκάρσιας πλοκής του τοίχου:



$$\delta_{tr} = \left\{ \begin{array}{c} \text{άθροισμα υψών } l_i \text{ λιθοσωμάτων} \\ \text{τεμνόμενων απ' την τομή } p\text{-}p \end{array} \right\} : \left\{ \begin{array}{c} \text{αντίστοιχο συνολικό κατακόρυφο} \\ \text{μήκος L της εξεταζόμενης} \\ \text{περιοχής τοίχου} \end{array} \right\}$$

$$0 < \delta_{tr} < 1$$

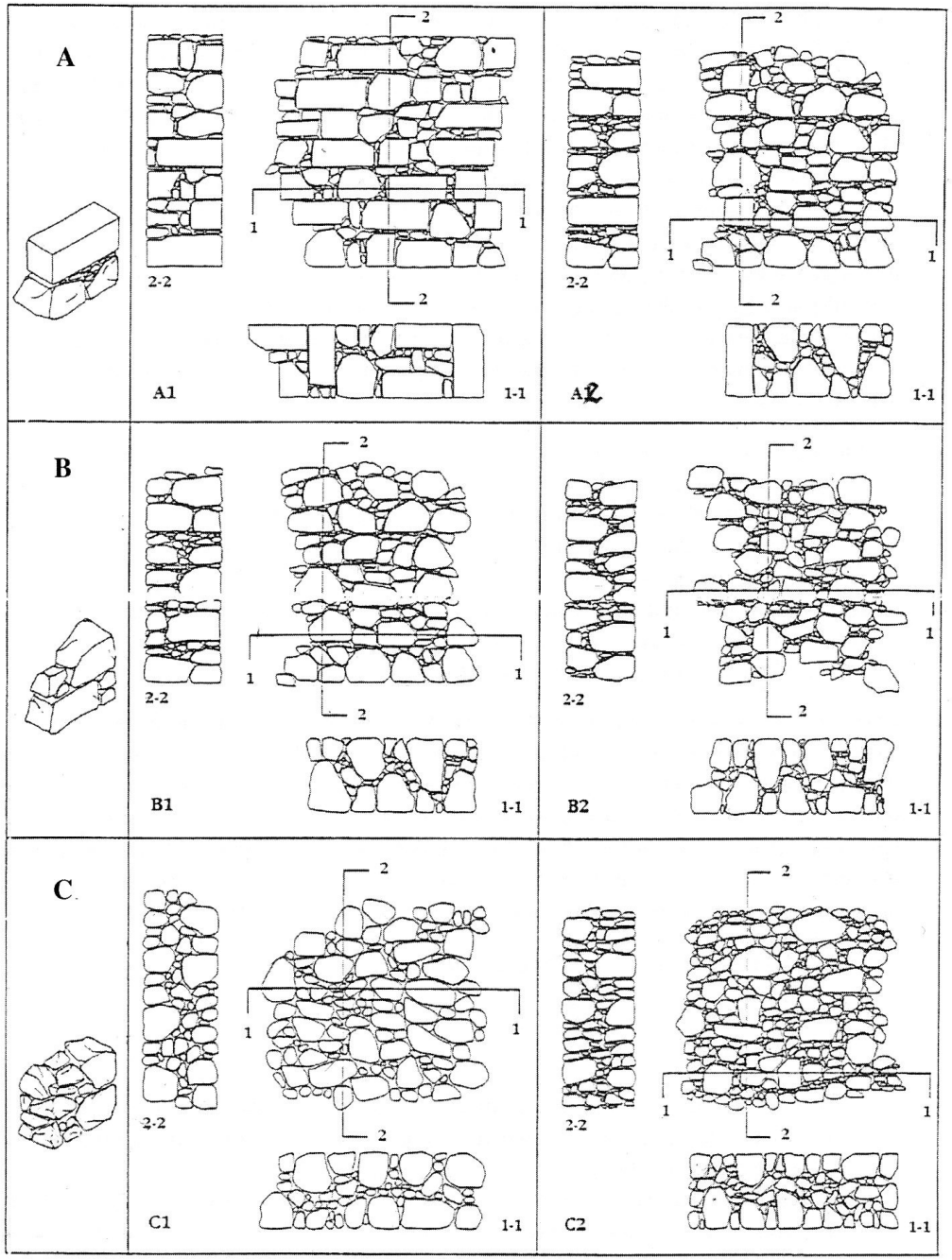
Δέν διαθέτομε (ούτε ενα αδρομερές έστω) προσομοίωμα για την αναγκαία μείωση της f_{wc} συναρτήσει δ_{tr}.

Επομένως, μια προσωρινή χοντρική σύσταση θα ήταν να μειώναμε την αντοχή:

– κατα 50% για $\delta_{tr} < 0{,}10$

– κατα 30% για $0{,}10 < \delta_{tr} < 0{,}60$

Μια **πρακτικότερη** προσέγγιση θα ήταν να μπορούμε να ταιριάξομε την τοιχοποιία-μας σε κάποιαν απ' τις περιπτώσεις του επομένου σχήματος (διαφ. 39), και να εκτιμάμε τις αντίστοιχες λόγω **πλοκής** μειώσεις αντοχής, βάσει πείρας ή και ανάλογων όμοιων πειραμάτων στο Εργαστήριο – άν καταδεχόμαστε να κάνομε τέτοιες έρευνες που δέν έχουνε γκλαμουριά…


A
2
1
1
2
2-2
A1
1-1
2
1
1
2
2-2
A2
1-1
B
2
1
1
2
2-2
B1
1-1
2
1
1
2
2-2
B2
1-1
C
2
1
1
2
2-2
C1
1-1
2
1
1
2
2-2
C2
1-1

Ο ρόλος του «εξωγενούς» πεδίου τάσεων

(«λοξή θλίψη», Σχ. διαφ. 41)

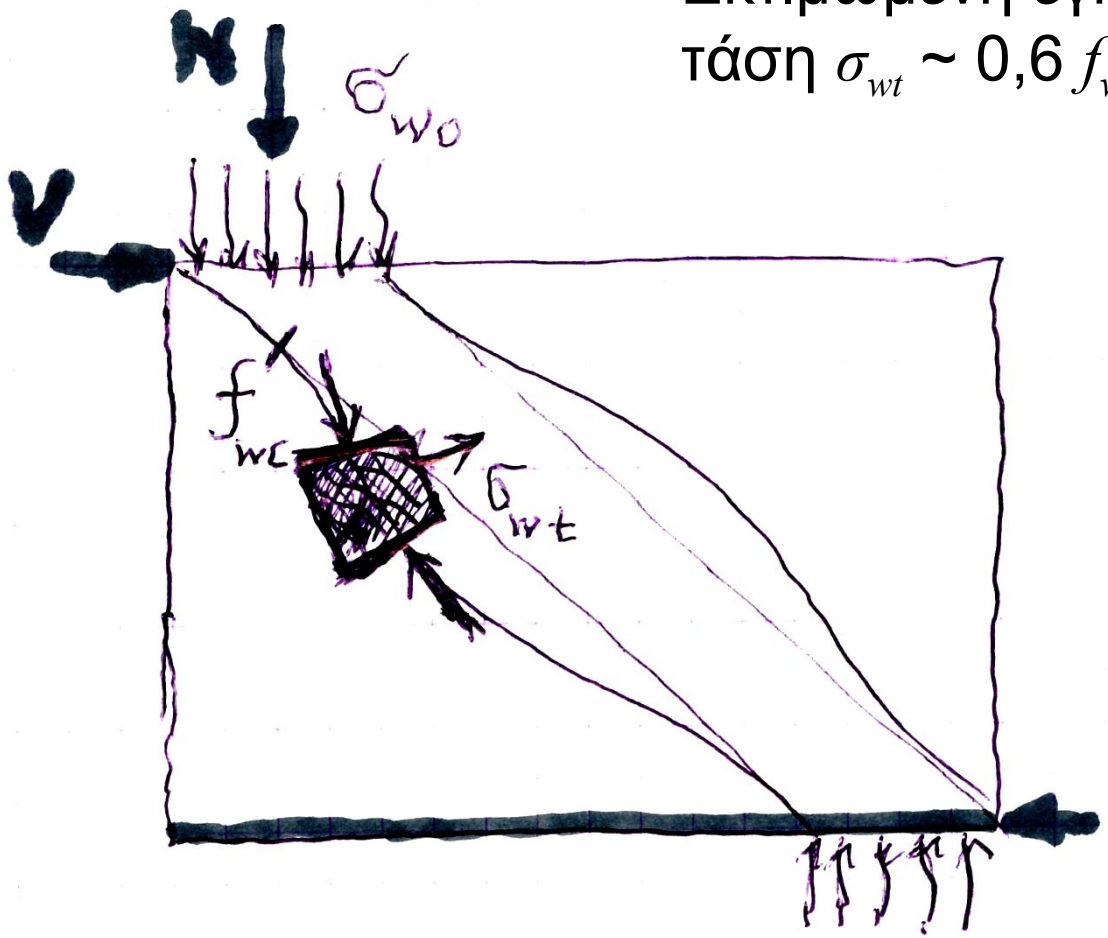
Η επίπεδη ετερόσημη ένταση (θλίψη και εγκάρσιος εφελκυσμός) συνεπάγεται μείωση της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής.

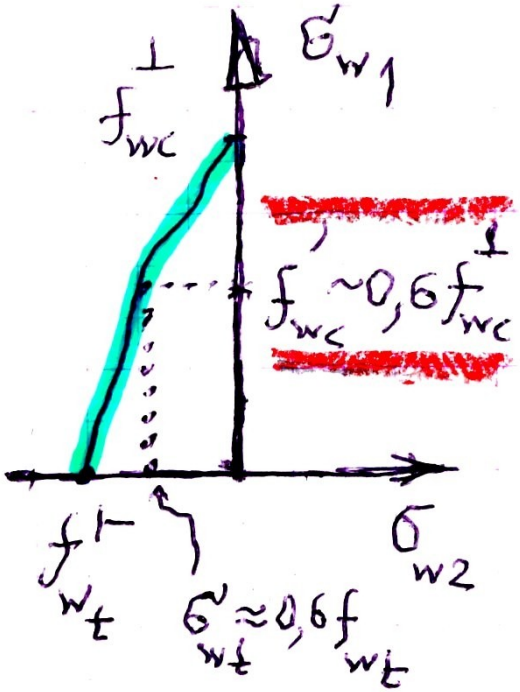
Για ευθύγραμμη «διακρίνουσα» (πράσινη γραμμή) θα ήταν

$$f_{wc}^{\text{Ά}} = \left\{ 1 - \frac{\sigma_{wt}}{f_{wt}} \right\} f_{wc}$$

Όμως, η διακρίνουσα ΔΕΝ είναι ευθύγραμμη…

Εκτιμώμενη εγκάρσια εφελκυστική τάση $\sigma_{wt} \sim 0{,}6\, f_{wt}$





Αντοχή σε «λοξή» θλίψη, παρουσία εγκάρσιου εφελκυσμού.

3. Η ΤΡΙΣΤΡΩΤΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Τα περισσότερα Μνημεία απο τοιχοποιία είναι χτισμένα με 3-στρωτους τοίχους !

Το πρώτο **καθήκον**-μας είναι να το έχομε διαπιστώσει, τοίχον-προς-τοίχο…

Το δεύτερο, είναι να έχομε (ποιοτικές έστω, στην ανάγκη) πληροφορίες για τη **σύνθεση** του κάθε τοίχου εγκαρσίως προς το επίπεδό του.

Για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής τους θα χρειασθούν πρόσθετα προσομοιώματα.

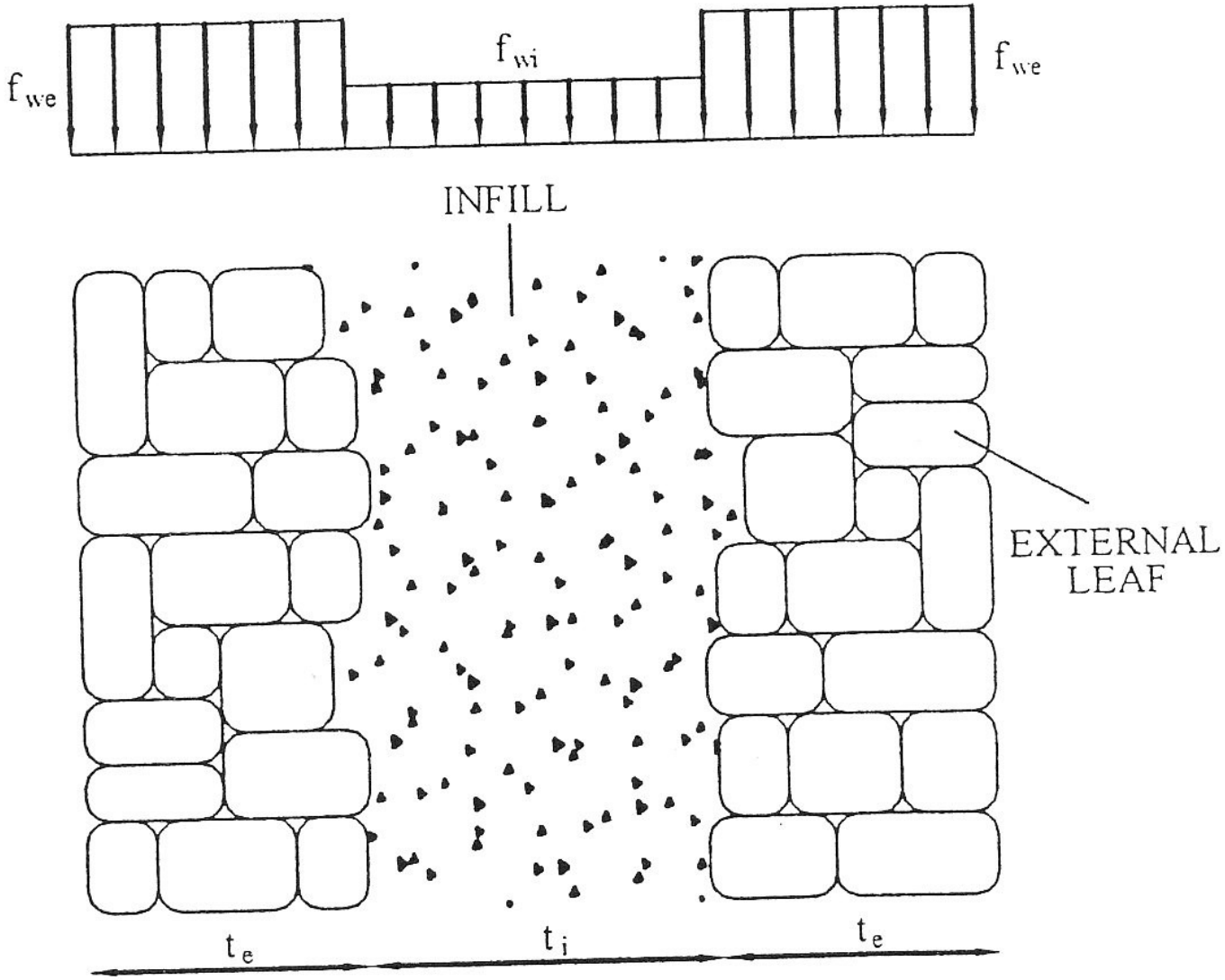
Σύνθεση της 3-στρωτης

Τεράστια ποικιλία…

- Εξωτερικό κέλυφος: Γερή πλατειά τοιχοποιία, έως απλή τούβλινη επικάλυψη
- Εσωτερικό υλικό: χυτό λιθόδεμα με πλούσιο ασβεστοκονίαμα, έως ξερά αποκοπίδια της δουλειάς των χτιστάδων.

Και οι συνδυασμοί των…

(αλλοίμονό σας!)


f_{we}
f_{wi}
f_{we}
INFILL
EXTERNAL LEAF
t_e
t_i
t_e

Πρώτη προσέγγιση: «Ασύνδετες» στρώσεις

Άθροιση επιμέρους αντοχής

$$f_{wo} = \left(2t_e + t_i\right) = \lambda_e \times 2t_e f_{wc,e} + \lambda_i \times t_i f_{wc,i}$$

$$f_{wo} = \left(2\lambda_e a f_{wc,e} + \lambda_i f_{wc,i}\right) : \left(1 + 2a\right)$$

όπου $a = t_e + t_i$

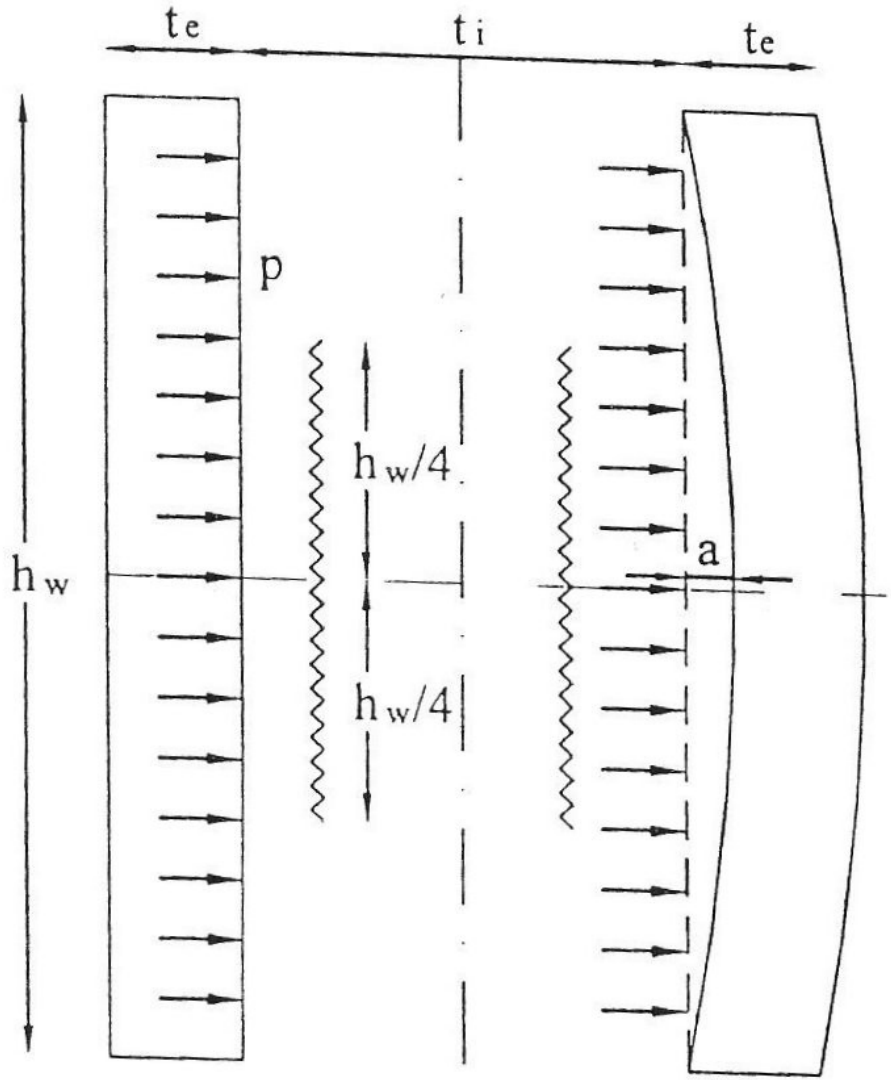
$\lambda_e, \lambda_i =$ διορθωτικοί συντελεστές λόγω αλληλόδρασης στρώσεων

Δεύτερη προσέγγιση (βλ. Σχ. διαφ. 47)

Το γέμισμα **ολισθαίνει** κατα μήκος των διεπιφανειών, οπότε η εγκάρσια διόγκωση αυξάνεται και λόγω της αδρομέρειας των χειλέων της διατμηματικής ρωγμής: Διόγκωση «$α_o$».

Η ασκούμενη εσωτερική πίεση «p» προκαλεί καμπτικό βέλος «α» στο κέλυφος.

Το γέμισμα υφίσταται θλιπτική παραμόρφωση ($α_o$ – α)



Εγκάρσια τομή του τοίχου, μετά τις κατακόρυφες ρωγμές εντός του γεμίσματος

Ολισθητική διαστολικότητα

$$a_o = 0,015 X h_w^{2/3} \quad [mm]$$

Βέλος κάμψεως

$$a = 0,013 X p h_w^4 : \left\{ E_{we} X \frac{t_e^3}{12} \right\}$$

Θλιπτική παραμόρφωση γεμίσματος

$$a_o - a = \frac{t_i}{2} X \frac{P}{E_i}$$

Εσωτερική οριζόντια πίεση

$$p = 0,3h_w^{2/3} : \left\{ \frac{h_w}{t_e} \right\}^3 h_w \frac{0,31}{E_{we}} + \frac{t_i}{E_i}$$

Πρόσθετη καμπτική θλίψη στο κέλυφος

$$\Delta\sigma_{we} = 4\zeta_e \times \frac{at_e}{h_w^2} \times f_{we}$$

όπου $\zeta_e = E_{we} : f_{wc}$

- 500 αλάξευτη
- 1000 τούβλα
- 1500 λαξευτή

$$\left(f'_{we} = f_{we} - \Delta\sigma_{we} \right)$$

Συμπέρασμα

Διορθωτικοί συντελεστές αντοχής 3-στρωτης:

$$\left| \begin{array}{l} \lambda_e : 1 - 0,06\zeta_e t_e h_w^{-4/3} \quad [mm] \\ \lambda_i : 1 \end{array} \right.$$

Για την αυξημένη αντοχή της τρίστρωτης μετά την ενίσχυσή-της μέσω **ενέσεων**, (βλ. βιβλιογραφίαν:

Vintzileou, Tassios, 1995

Tassios, 2004

Vintzileou, Miltiadou, 2008

Vintzileou, 2011

4. f_{wc} ΥΠΟ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΘΛΙΨΗ

Οφείλομε να επισημάνομε δύο σχετικά φαινόμενα:

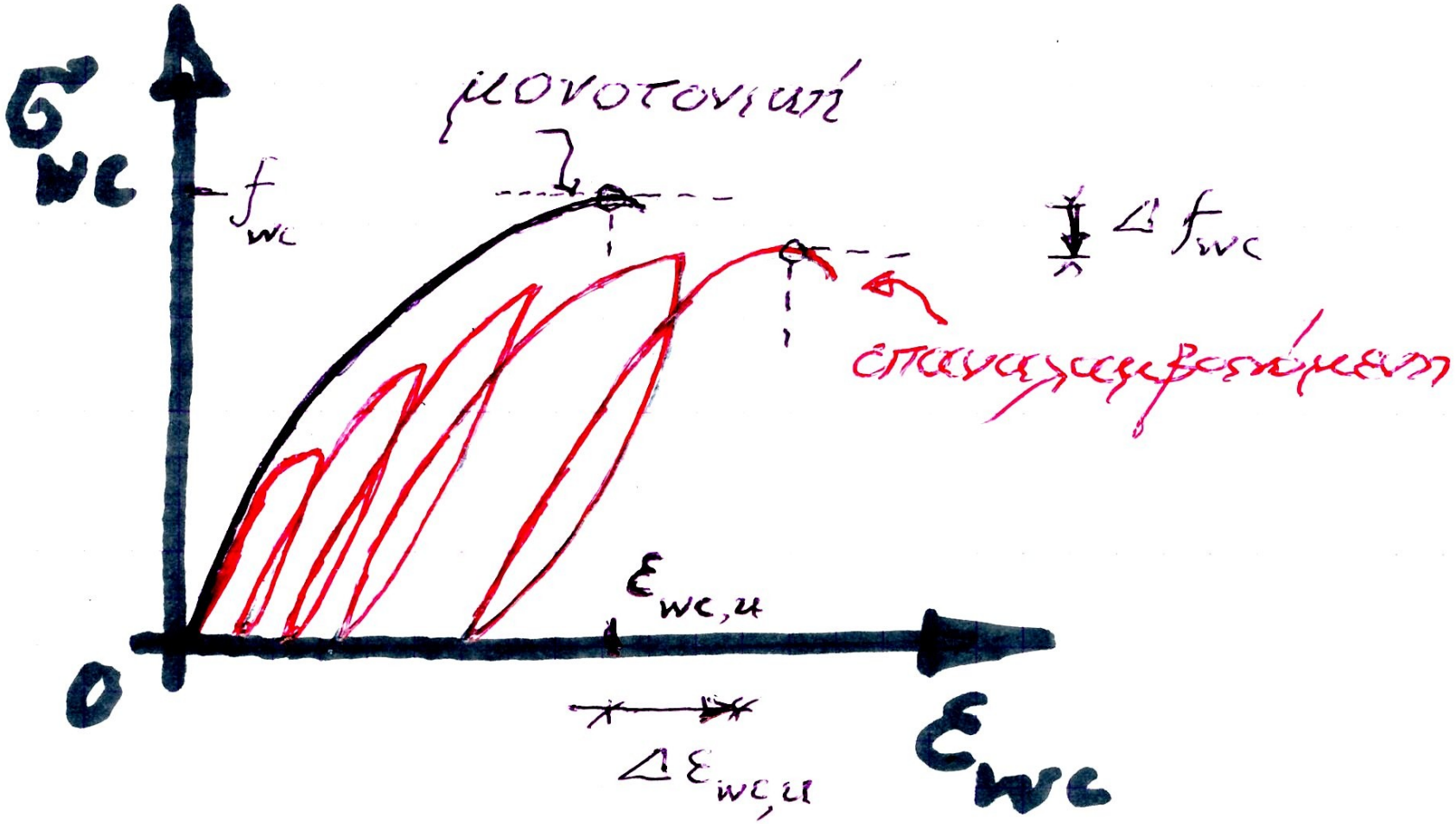
α) Επαναλαμβανόμενη όταν «ε_{wc}» < $\varepsilon_{wc,u,o}$ συνεπάγεται (Διαφ. 53):

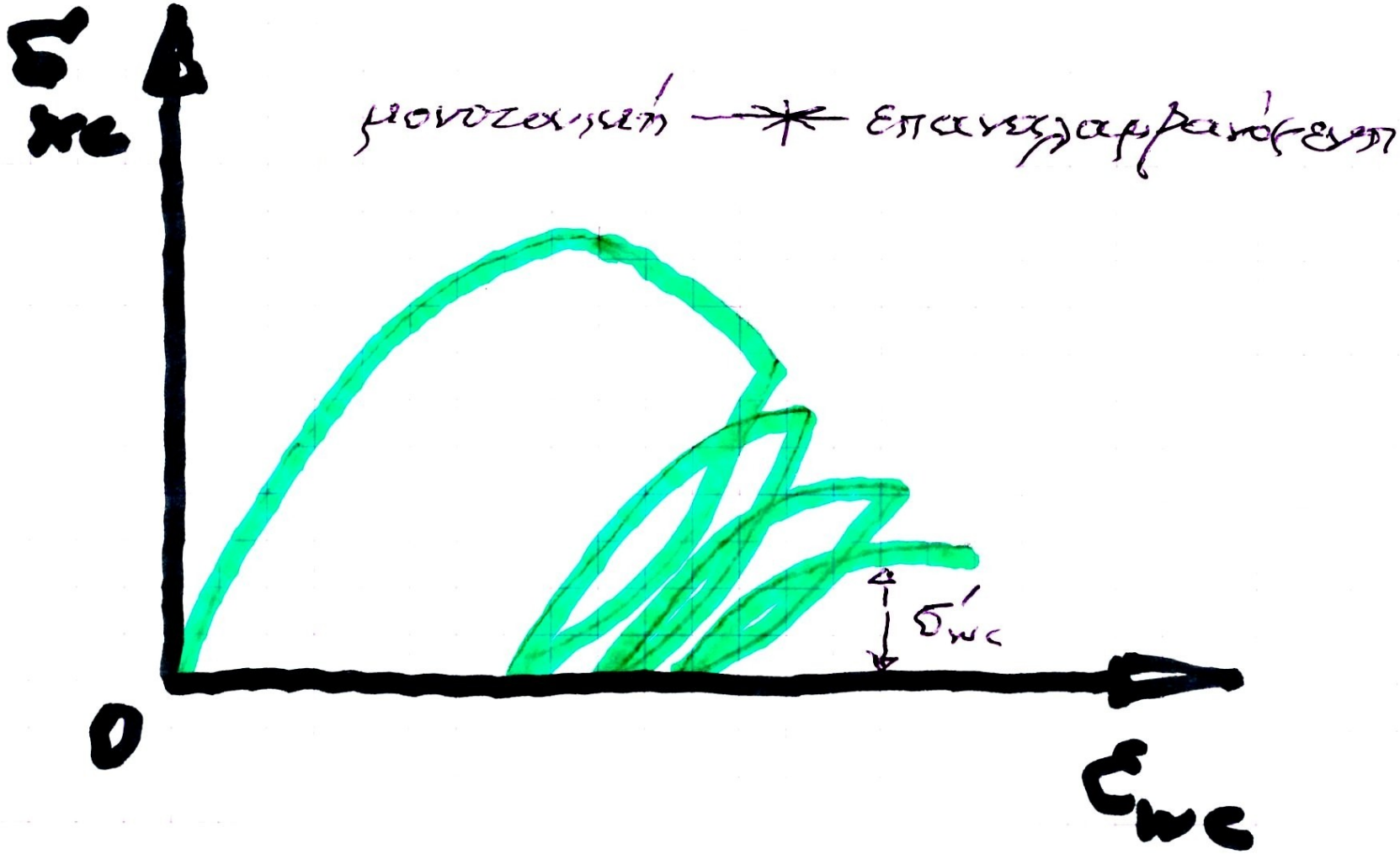
– μικρή μείωση f_{wc}

– σημαντική αύξηση $\varepsilon_{wc,u}$

β) Επαναλαμβανόμενη όταν «ε_{wc}» > $\varepsilon_{wc,u,o}$ συνεπάγεται (Διαφ. 54):

– σημαντική μείωση διαθέσιμης απόκρισης σ'_{wc} σε θλίψη.


σ_{wc}
f_{wc}
μονοτονική
Δf_{wc}
επαναφορτίσεις
$\varepsilon_{wc,u}$
0
$\Delta \varepsilon_{wc,u}$
ε_{wc}



σ
μονοτονική → επανεξαμβανόμενη
σ'wc
0
εwc

Δέν θα το πιστέψετε: **Δέν** διαθέτομε επιστημονικώς συστηματικές έρευνες για τις τιμές Δf_{wc}, $\Delta\varepsilon_{wc}$, σ'_{wc} για κάθε τύπο τοιχοποιίας και για διάφορες παραμέτρους δοκιμασίας…

5. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

(5.1. Οιονεί ελαστική φάση)

α) Επιβατικό **μέτρο ελαστικότητας** (Psilla, Tassios, 2008)

$$E_w = \left[1 + \left(0,9\frac{\sigma_0}{f_{wc}} - 0,6\right) \times \frac{V}{V_{cr}}\right] \times E_{wo}$$

$$E_{wo} \approx \zeta \times f_{wo} \qquad \zeta = 500 \div 1500$$

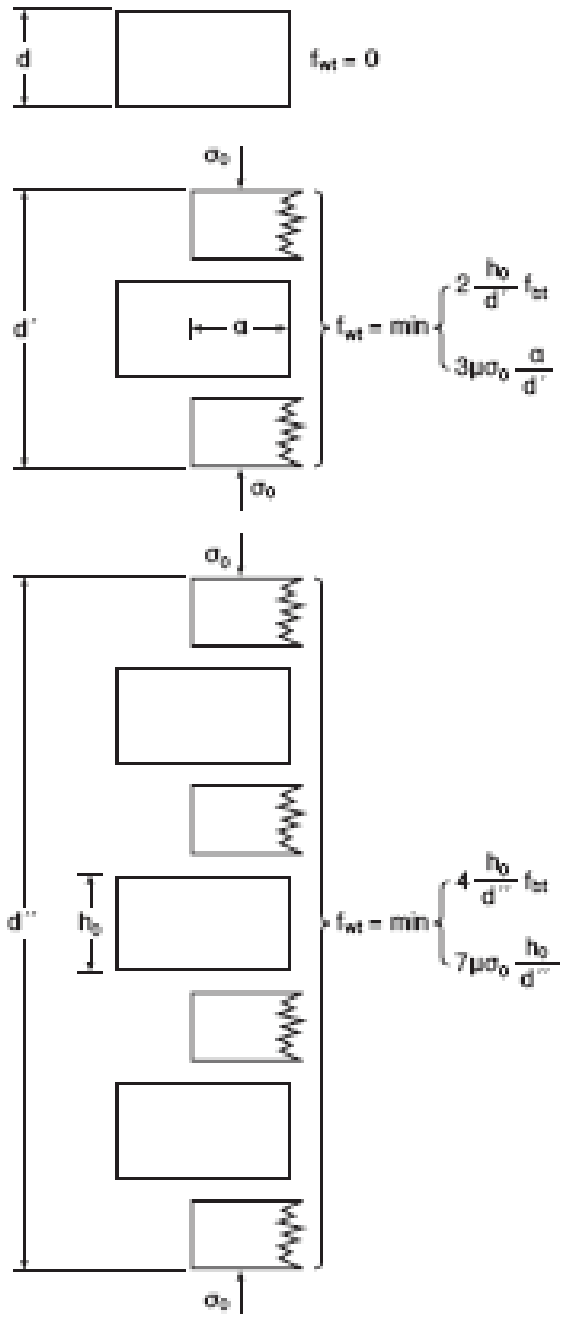
$$\sigma_0 \succ \frac{2}{3} f_{wc}$$ δρώσα τάση

V = δρώσα τέμνουσα

V_{cr} = τέμνουσα διατμ. ρηγμάτωσης

$$= b_w l_w \left[\frac{2}{3} f_{wt} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{wt}}}\right]$$

f_{wt} = εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας (μια άλλη πηγή αβεβαιοτήτων βλ. Διαφ. 57)



Η ονομαστική εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας μπορεί να διαφέρει, ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής αναφοράς (d, d΄, d΄΄), δηλαδή ανάλογα με την έκταση του εφελκυστικού πεδίου.

β) Μέτρο διάτμησης

G_w = 0,3 έως 0,4 E_{wo} αρχικώς

G_w ≈ 0,2 E_{wo} μετά τη ρηγμάτωση

Γωνιακή παραμόρφωση τη στιγμή **έναρξης** μιας τοπικής ρηγμάτωσης:

$$\gamma_{cr,o} = \frac{\tau_{cr}}{G} \longleftarrow \text{(διαφ. 56)}$$

Ορατή γενικότερη ρηγμάτωση $\gamma_{cr} = 1{,}5\ \gamma_{cr,o}$

5.2. Κατα την αστοχία

Η τιμή “ε_{wcu}”, βασικότατης σημασίας για την αντισεισμική μή-γραμμική Ανάλυση («μέθοδος μετακινήσεων»), εξαρτάται απο **μεγάλο** πλήθος παραγόντων του συγκεκριμένου προβλήματος. Οι διαθέσιμες πληροφορίες στη βιβλιογραφία είναι **αντιφατικές**, επειδή δέν δίνονται όλες οι σχετικές με τους παράγοντες αυτούς πληροφορίες κατα τη διάρκεια του πειράματος.

Εξάρτηση της ε_{wcu}

(i) **Μειώνεται** με την

- αντοχή του κονιάματος
- αντοχή των λιθοσωμάτων
- πλοκή των λιθοσωμάτων
- συνάφεια με το κονίαμα
- πληρότητα των αρμών
- παρουσία εγκάρσιου εφελκυσμού
- ταχύτητα της φόρτισης

(ii) **Αυξάνεται** με την

- προ-ύπαρξη ρωγμών
- διαζωμάτωση
- ύπαρξη ξυλοδεσιάς
- εφαρμογή προγενέστερων κύκλων θλίψης
- αύξηση του ανεκτού βαθμού βλάβης κατα την αστοχία

Η Επιστήμη-μας δοκιμάζεται στα ένδοξα δύσκολα υλικά

- υβριδικά
- μή-γραμμικά
- ασυνεχή
- ορθότροπα
- ψαθυρά την φύσιν

  δυνητικώς πλάστιμα την θέσιν

Αυτό είναι η Τοιχοποιία…

Εργαστηριακές τιμές (ΕΜΠ)
υπο μονοτονική θλίψη

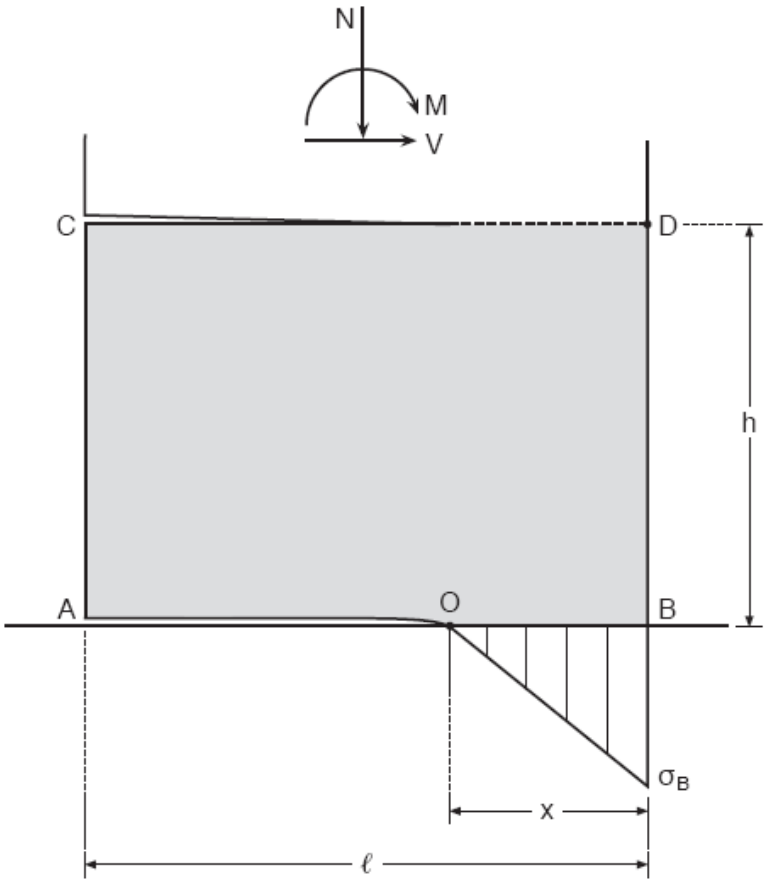
- Αλάξευτη λιθοδομή
  - κορυφαία τιμή ε_{wcu} = 2 έως 3.10^{-3}
  - μετά απο απώλεια απόκρισης 30% στον φθιτό κλάδο ε_{wcu} = 3 έως 5.10^{-3}
- Οπτοπλινθοδομή απο ολόσωμα τούβλα (f_{wc} ~ 3-8 MPa) ε_{wcu} ~ 4.10^{-3}
- Οπτοπλινθοδομή απο διάτρητα τούβλα (f_{wc} ~ 2-3 MPa) ε_{wcu} = 1,5 έως 3,5 . 10^{-3}
- Διαγώνια θλίψη (διάτρητα τούβλα, f_{wc} = 3-4 MPa) ε_{wcu} = 1 έως 2.10^{-3}
- Πλήρως ξυλοπλισμένη τοιχοποιία: Όλες οι ανωτέρω τιμές μπορούν μέχρι και να τριπλασιασθούν.

3-στρωτη τοιχοποιία

- Κατακόρυφη θλίψη
  - Καλοχτισμένες εξωτερικές και εσωτερικές στρώσεις (f_{wc} ~ 6 MPa), ε_{wcu} = 3 έως 4.10^{-3} (Binda)
  - Βυζαντινή ημικανονική τοιχοποιία (f_{wc} ~ 2 MPa) [Vintzileou, Miltiadou] ε_{wcu} ~ $1,5.10^{-3}$
  - Βυζαντινή ημικανονική μετά τις ενέσεις (f_{wc} ~ 3,5 MPa) ε_{cu} ~ $3,5.10^{-3}$
- Διαγώνια θλίψη ε_{wcu} ~ 1.10^{-3}

Στροφική ικανότητα τοιχοπεσσών

(για την εφαρμογή της στατικής μή-γραμμικής μεθόδου)

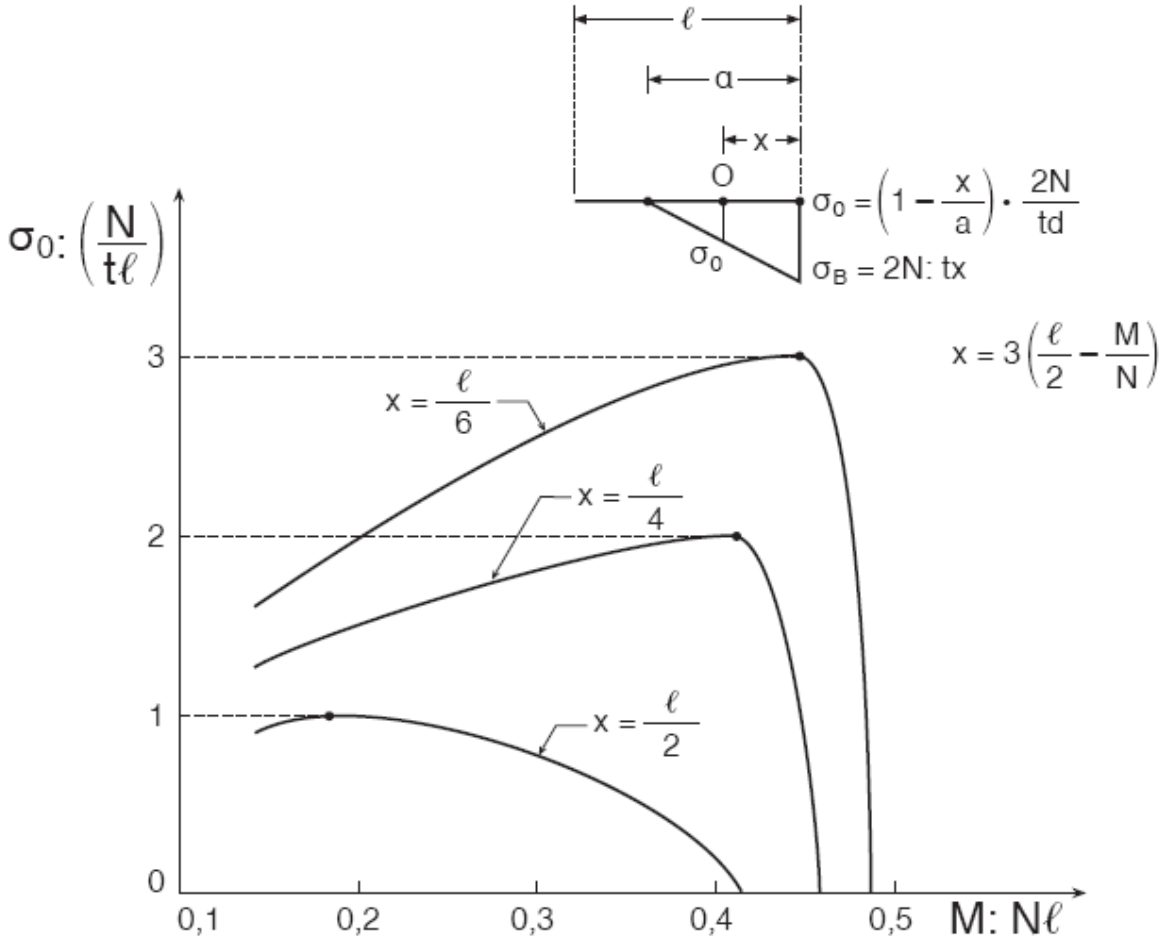


Πεσσός τοιχοποιίας υπο αξονική και διατμ. ένταση

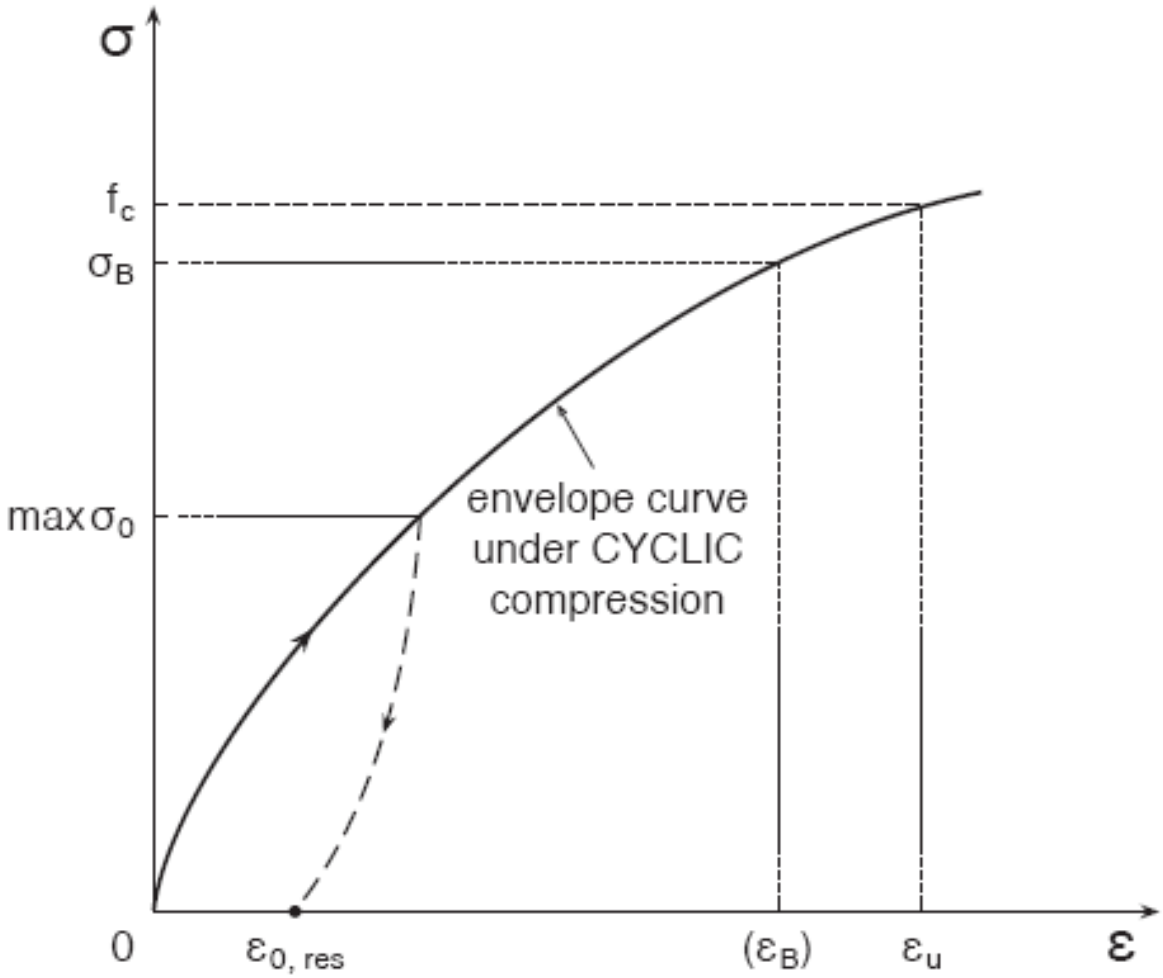
Συνολική στροφή $\theta = \theta_{M+N} + \theta_V$

Όπου $\theta_V = V: GtI$,

ενώ για την θ_{M+N} οφείλομε να λάβομε υπόψη οτι το σημείον «Ο» της Διαφ. 65 είχε επιφορτισθεί με τάση $|\sigma_o| > 0$ – έχει δηλαδή «αποφορτισθεί» (βλ. διαφ. 67, 68)



Κατα τη σταδιακή αύξηση της δρώσας ροπής «Μ», το νύν ουδέτερο σημείο «Ο» είχε ήδη **φορτισθεί** με σημαντικές τάσεις «σ_o»

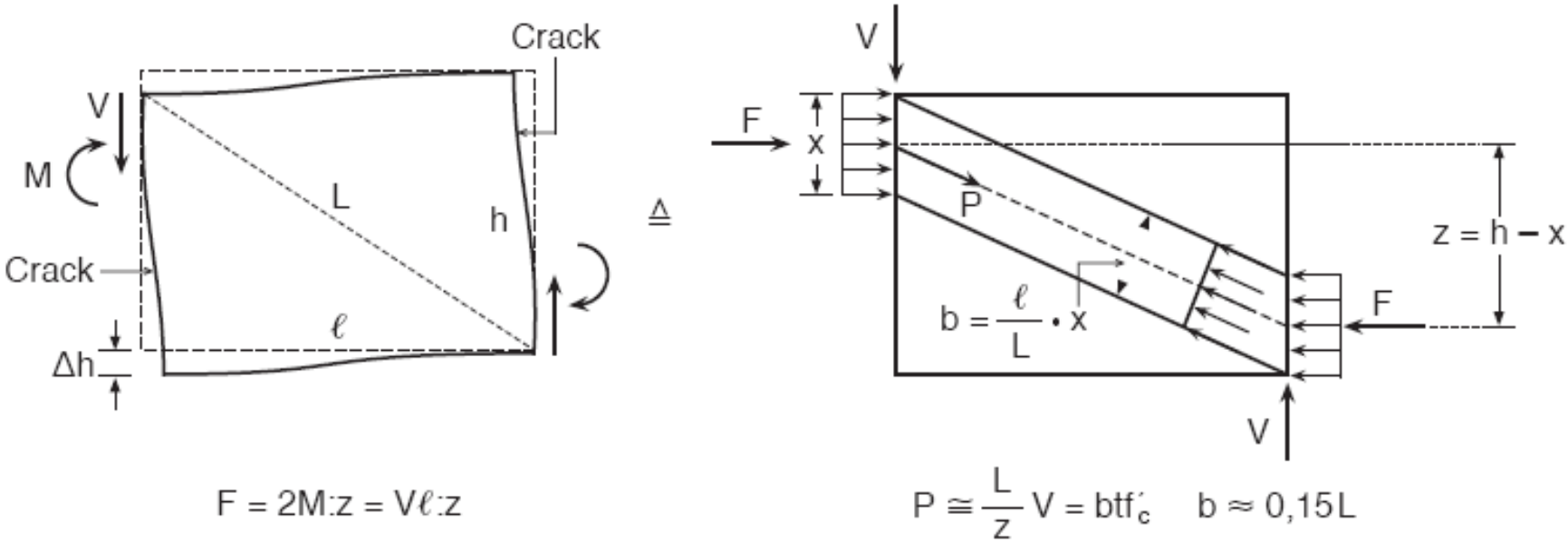


Το νύν σημείο «Ο» έχει **αποφορτισθεί** απο την max σ_0 την οποία είχε δεχθεί, κι έτσι παρουσιάζει κάποιαν απομένουσα παραμόρφωση $\varepsilon_{0,res}$.

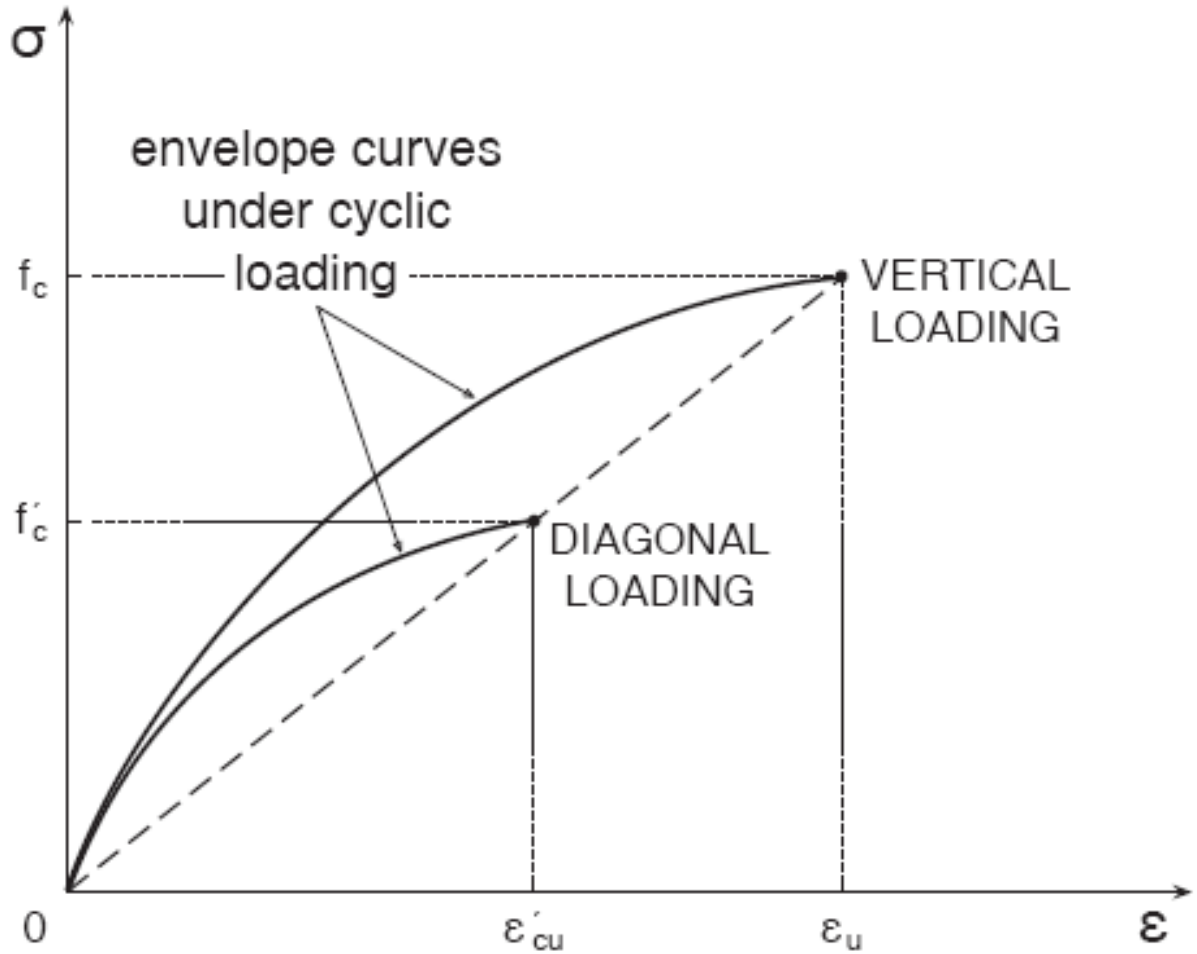
Συμπέρασμα (βλ. και διαφ. 65) :

$$\theta_{M+N} = \left(\varepsilon_B - \varepsilon_{0,res}\right) X \frac{h}{x}$$

Υπερθυρόδισκος (spandrel)
υπο ροπήν και τέμνουσα



Πρακτικώς ευρίσκεται υπο διαγώνια θλίψη



Το διάγραμμα σ – ε υπο διαγώνια θλίψη είναι ομοιόθετον του αντίστοιχου υπο κατακόρυφο θλίψη (λόγος ~ 0,6 : 1,0)

Επομένως

$$\theta_u = \Delta h : l = \frac{h}{l} \text{Χε Ά}_{cu}$$ (βλ. διαφ. 71)

υπο τον όρον οτι δέν έχει επέλθει διατμητική ολίσθηση στην θλιβόμενη ζώνη

Και τί κάναμε όλη αυτήν την ώρα για την ένδοξη τοιχοποιία μας;

Εξετάσαμε **ΜΟΝΟΝ** την αντοχή-της σε θλίψη (κι αυτήν «στα κλεφτά»).

Ιδού πεδίον **Έρευνας** ρωμαλέας – αντί για το κυνήγι του καταπληγικού Βαρώνου.

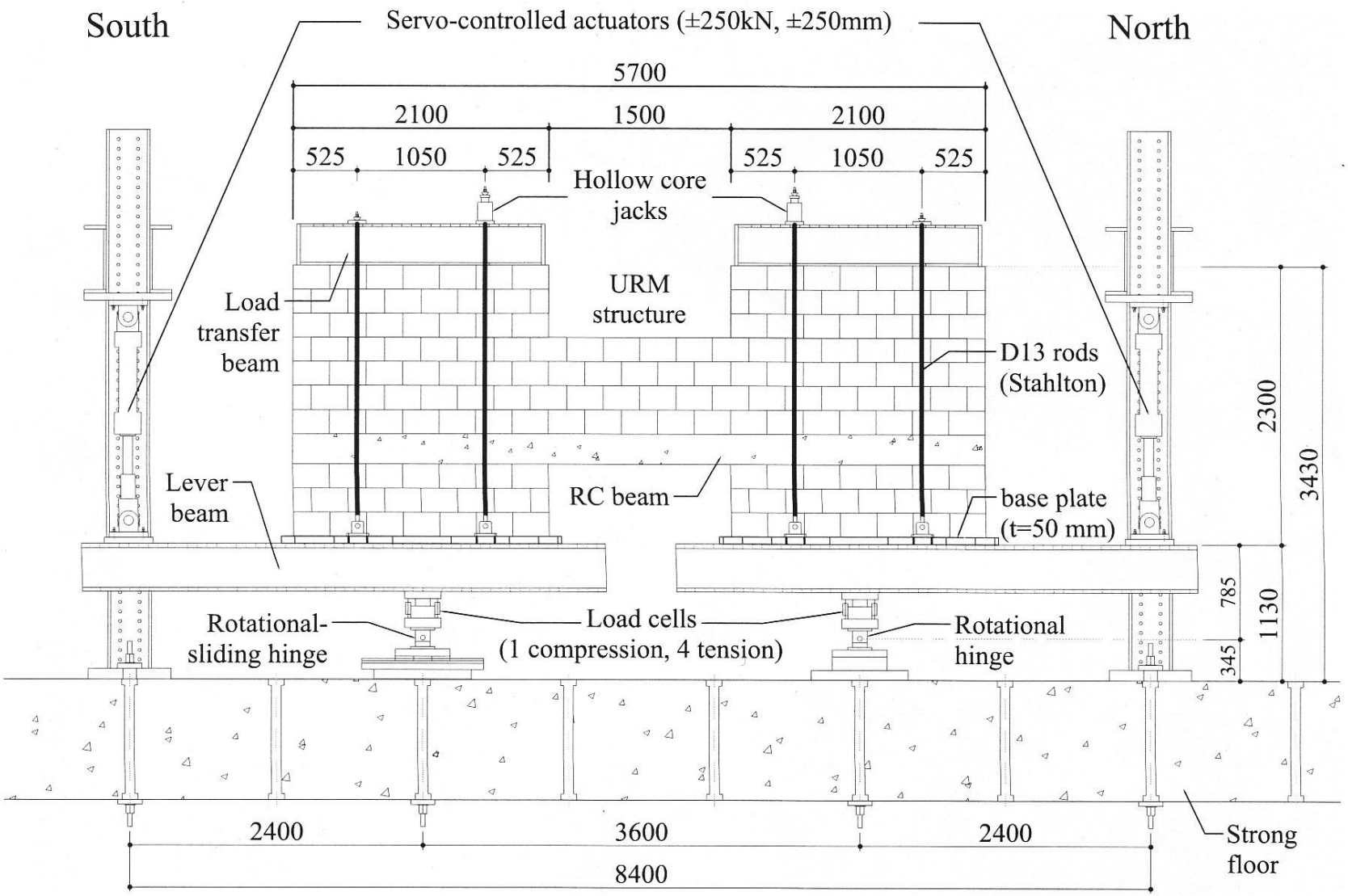


Figure 1.5: Drawing of the test setup for the composite spandrels. View from the East without side restraint. All dimensions in [mm].

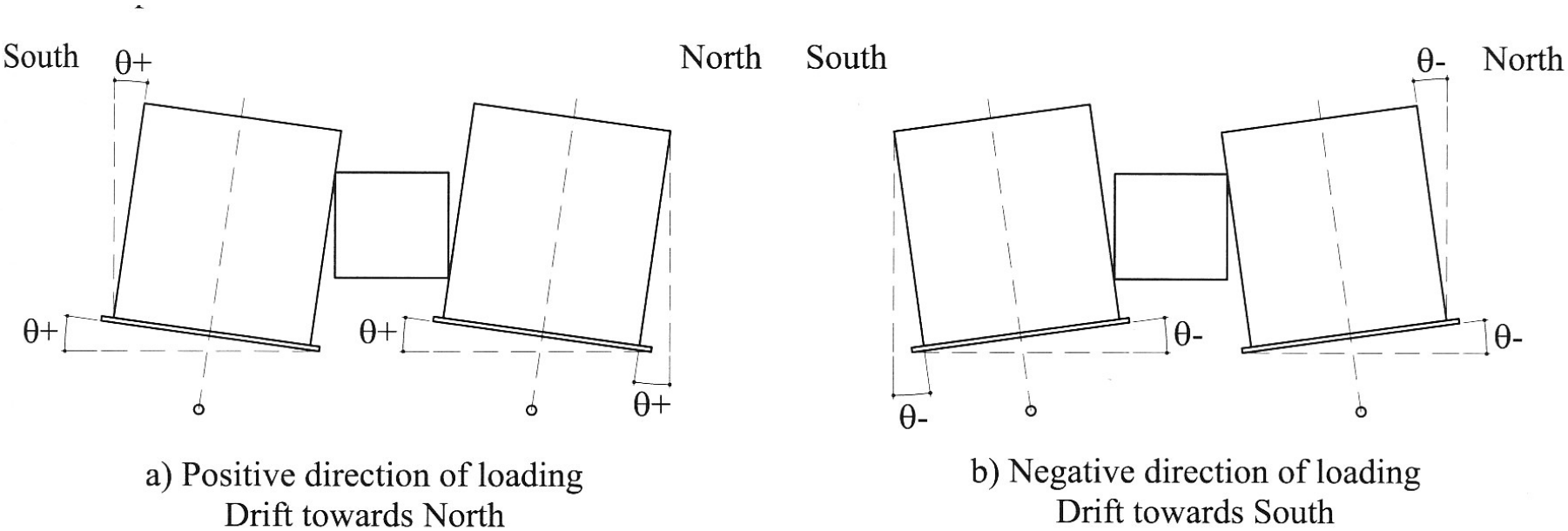


Figure 3.1: Positive (a) and negative (b) direction of loading. View from the East.

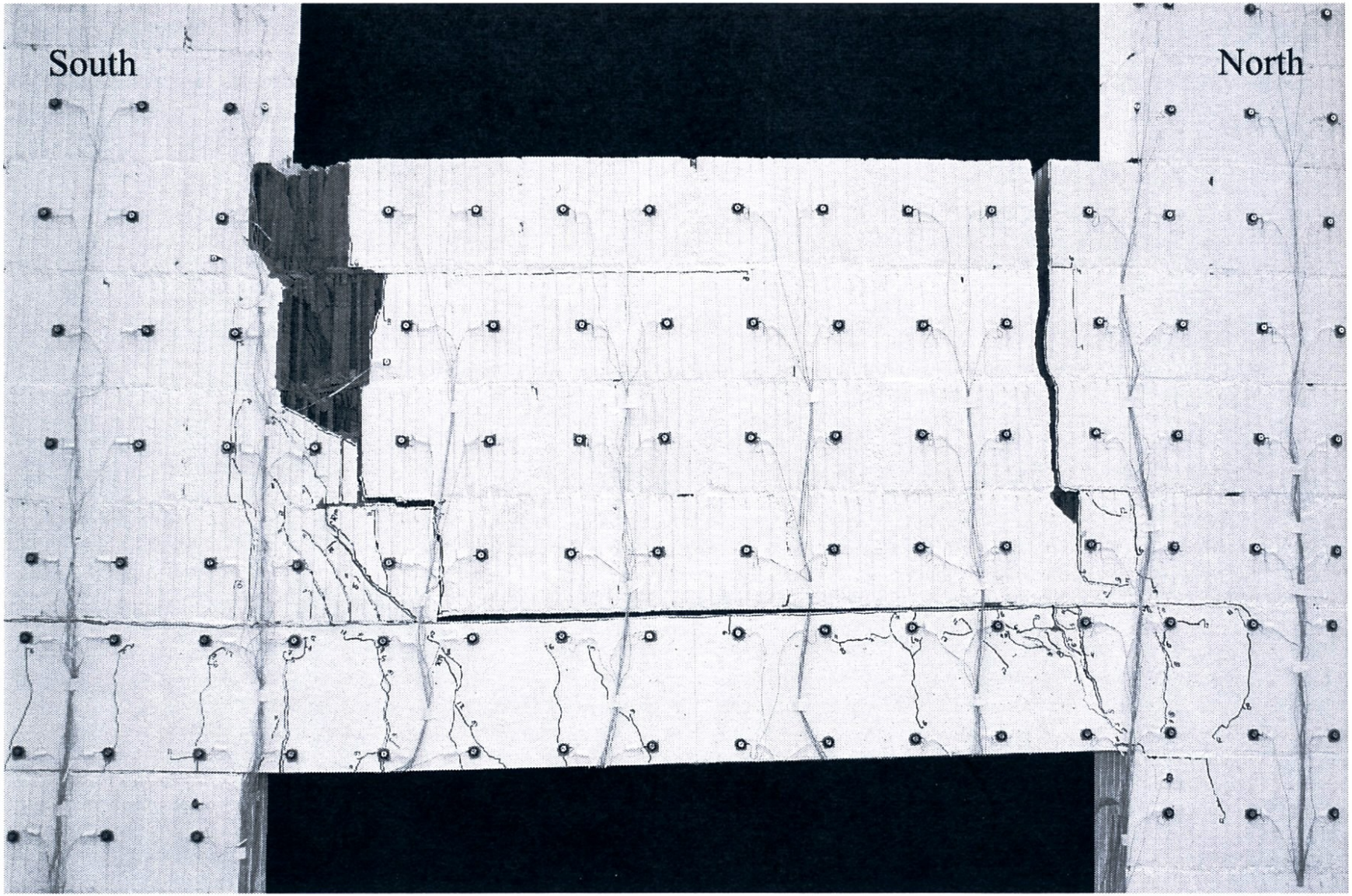


Figure 3.5: TU1: Crack pattern of spandrel at LS 12. Drift towards North with $\theta_{nom} = 2\%$.

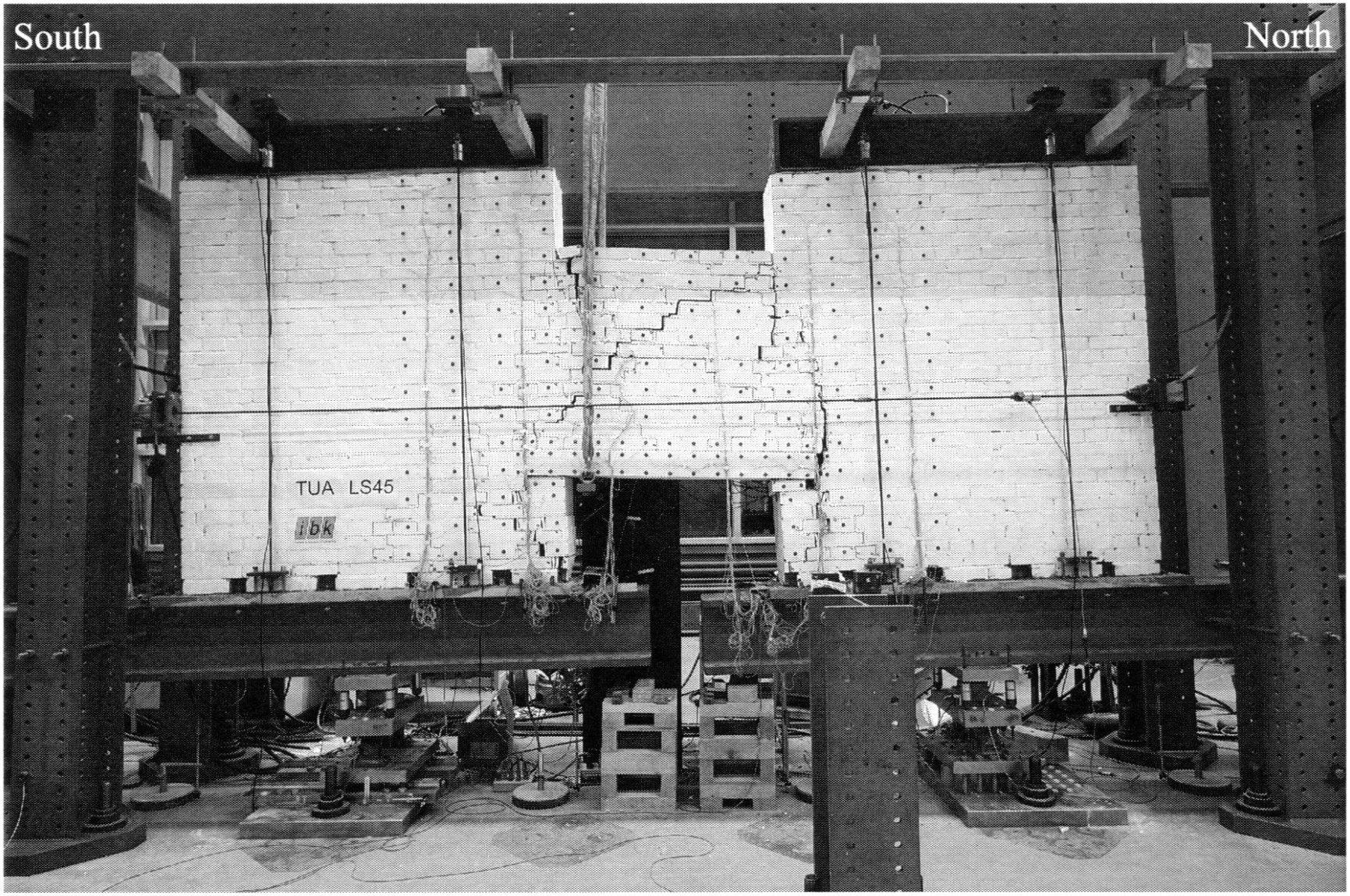


Figure 3.5: TUA: Crack pattern of spandrel at LS 45. Drift towards South with $\theta_{nom} = 2.0\%$.

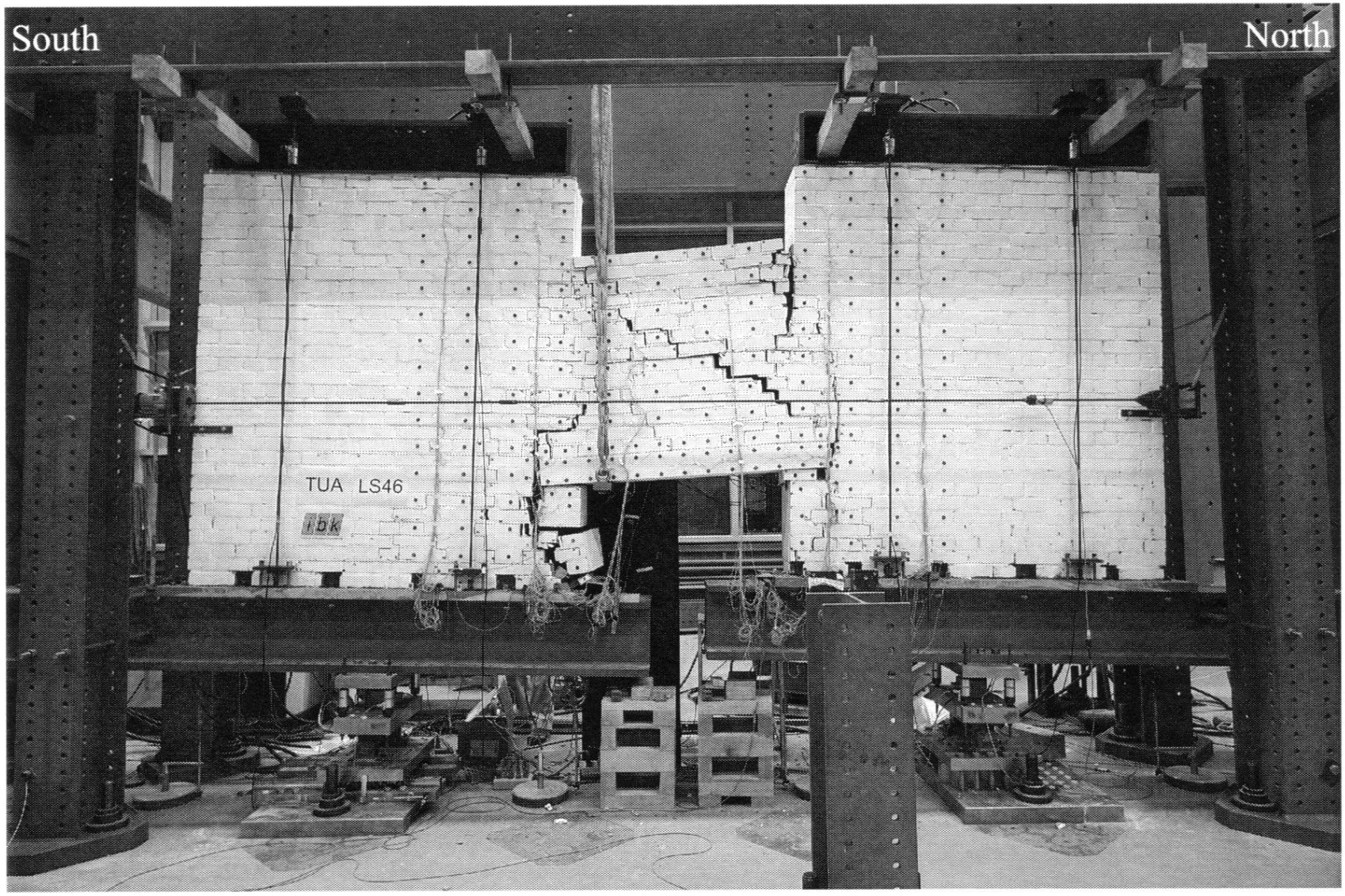


Figure 3.6: TUA: Crack pattern of spandrel at LS 46. Drift towards North with $\theta = 3.0\%$ (failure of TUA, $\theta_{nom} = 2.5\%$).

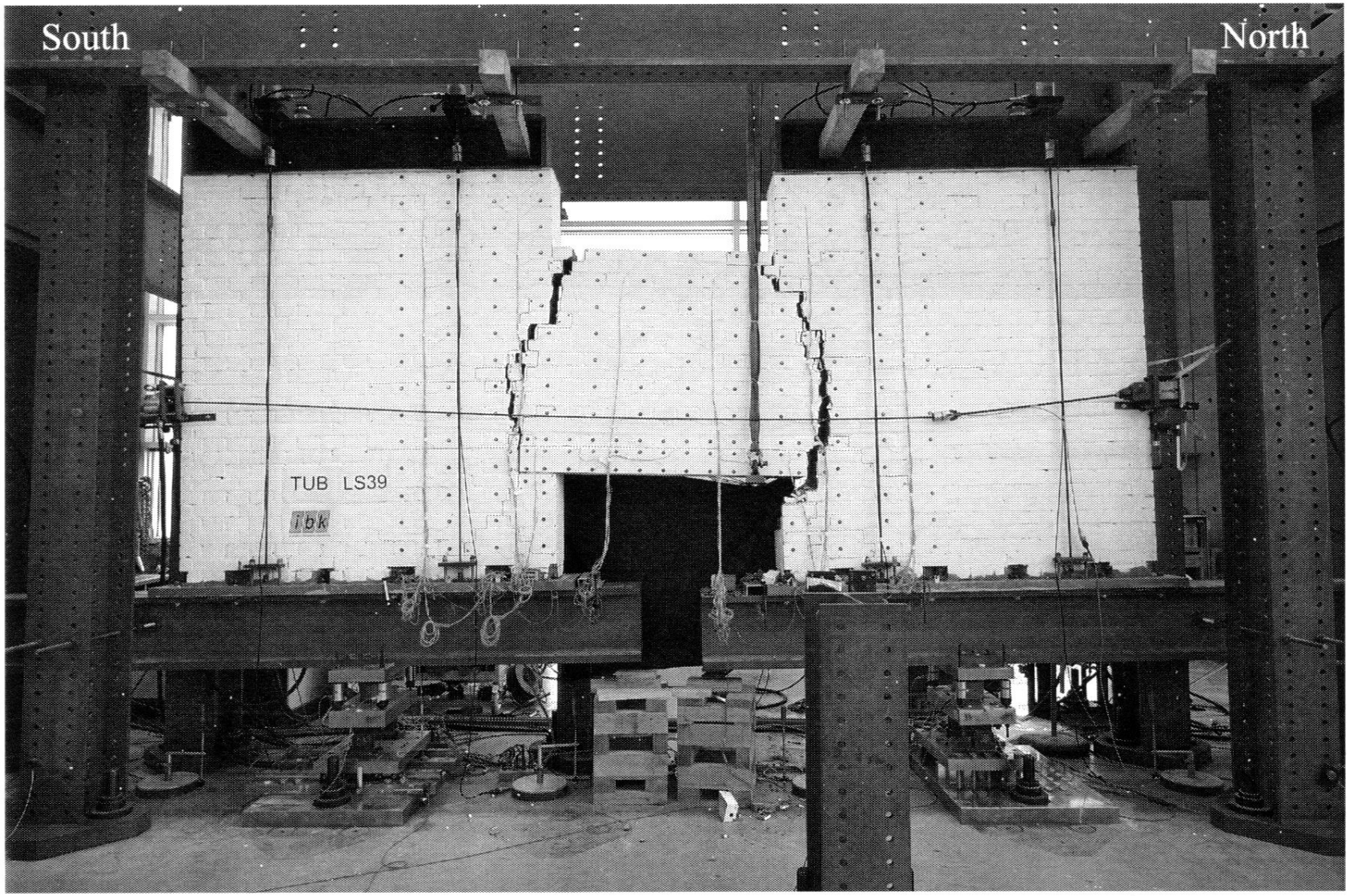


Figure 3.20: TUB: Crack pattern of spandrel at LS 39. Drift towards South with $\theta_{nom} = -1.5\%$ (failure of TUB).

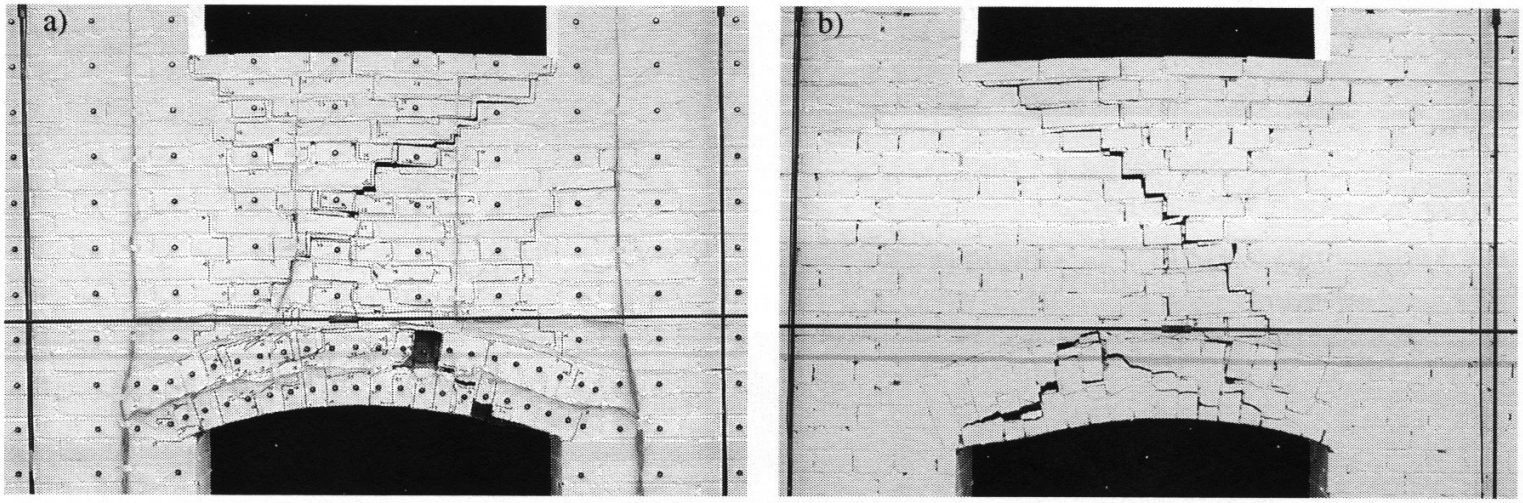


Figure 3.31: TUC: Front (East, a) and back (West, b) face of the spandrel at LS 31. Drift towards South with $\theta_{nom} = -0.8\%$.

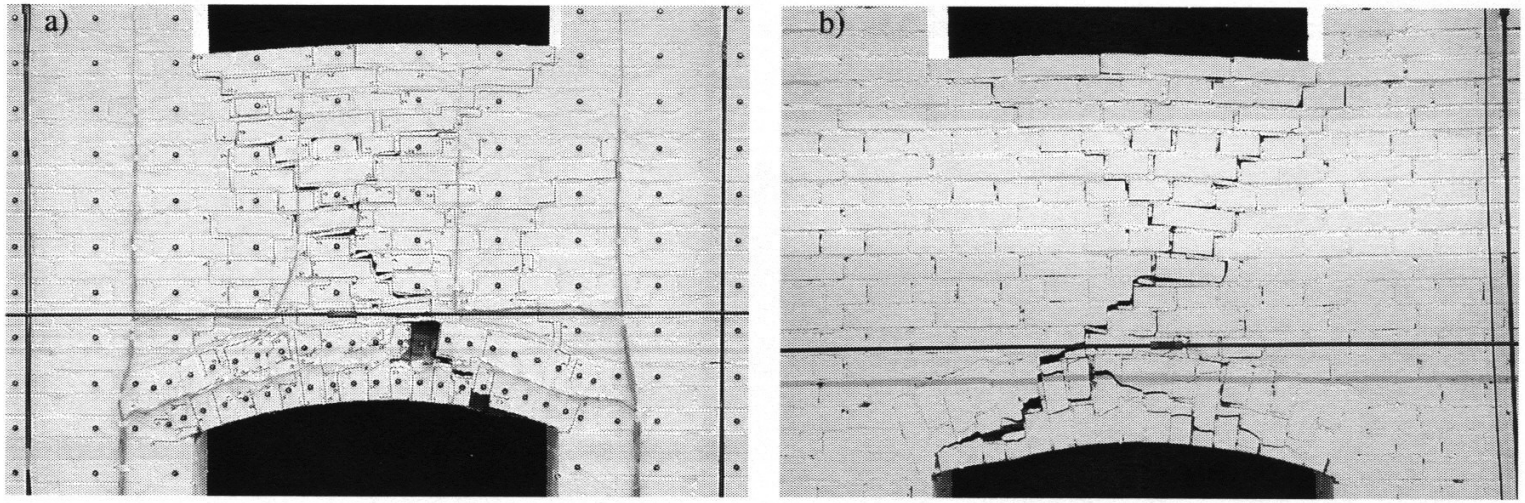


Figure 3.32: TUC: Front (East, a) and back (West, b) face of the spandrel at LS 32. Drift towards North with $\theta_{nom} = 0.8\%$.

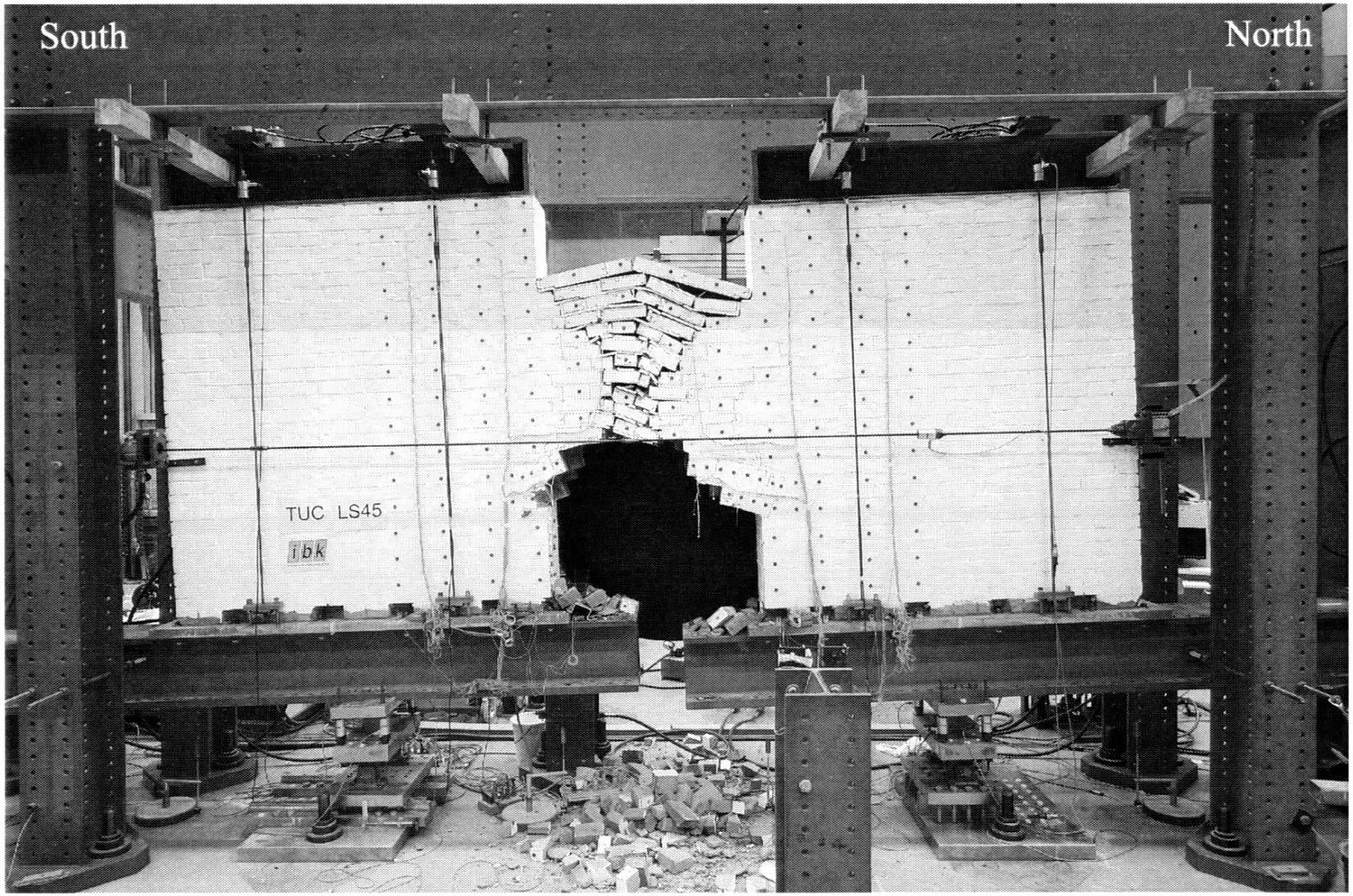


Figure 3.34: TUC: Crack pattern of spandrel at LS 45. Drift towards South with $\theta = -3.5\%$ (failure of TUC, $\theta_{nom} = -2.0\%$).

Ιδού
στάδιον
Μελέτης
και Δόξης!