中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 土木科

091202

高雄市立海青工商職業學校

指導老師姓名

王韡蒨

- 王景升
- 作者姓名
- 吳亭樺
- 郭子銘

阮抒敏

陳婷婷

膨脹性粒料造成結構物破裂原因探討及處理方案研究

壹、摘要

興建工程之初,在品管工作上,即要求粒料品質,然而工程誤用如頁泥岩等吸水膨脹 性粒料,造成結構物劣化問題,仍時有所聞。前述劣化情形,過程緩慢,因此,本研究以 萬能試驗機加載,模擬粒料膨脹力,藉試驗所獲得之參數,驗證破壞模式之理論推導合理 性。另藉試驗結果量測出之膨脹壓力及砂漿試體束制能力,可輔助提供誤用膨脹性粒料時 ,結構物維修決策參考。對於承壓結構物,應可不必全部拆除重建,處理之深度以淺層挖 除膨脹性粒料再進行修補,應可滿足需求;若屬承拉結構物,則應審慎評估其安全性,再 決定採取拆除重建或其他補強措施。

貳、研究動機及範圍

日前拜訪朋友時,發現他家剛買的新大樓華廈,在牆壁粉刷層上出現了許許多多粒料爆裂的情形,每個爆裂點後方都有一顆粒料,而且廠商已經重新補了幾次還是一樣。

回到學校後,與其他同學及老師討論,竟發現老師也有看過相類似的問題,而且所遇 到的爆裂問題後方是大顆的粗粒料(如圖1),請岩相專家看過,研判是因頁泥岩吸水膨脹 ,造成結構物爆裂。因剛上完材料力學「應力應變分析」課程,發現有一些觀念可以協助 我們分析此問題,故著手本次研究。

本研究範圍先設定於實務上常見之單一顆膨脹性粒料破壞情形進行研究,混合料互制情形發生在誤用粗粒料之狀況較少,若發生在誤用細粒料之粉刷層,則採用敲除重建較為經濟,故混合料互制問題,暫不納入本次研究內容探討。



圖1 案例照片

5 cm

參、研究目的

主要研究目的在解決心中疑惑,具體歸類為三項:

- 膨脹性粒料何以那麼有破壞力,到底破壞力如何?難道砂漿結構體就那麼容易被 破壞?
- 為何建商一再修補都沒有效果?那麼應該如何處理此類問題才適當?難道只有 拆除重建才能徹底解決?或是二手一攤,遷就現實放任破壞情形不管?
- 3. 結構物內有這些粒料存在,處理後就安全嗎?

肆、研究設備及器材

一、初期測試

砂紙、游標卡尺、銼刀。

- 二、材料準備
 - 平頭剷、電動篩、手推車、小剷子、電子秤。
- 三、模具製作

木心板、木條、電鋸、電鑽、鉗子、角尺、紮束帶、木螺絲、筆、PVC管、萬能 試驗機加載承壓組(如圖2)。

四、試體製作

容器、電子秤、小剷子、拌合盤、平頭剷、搗棒、拌合機、抗拉試驗8字模。

五、測試

萬能試驗機、萬能試驗機加載承壓組、鋼尺、砂漿體抗拉試驗機。

六、實驗材料

試驗用水泥為市售 I 型水泥,砂為建築用砂,拌合水為高雄地區自來水。 粒料為頁泥岩:

【來源】高雄田寮鄉月世界

【物性】頁岩及泥岩在外觀上都有黏土岩的共同特徵,頁岩層理清晰,沿層理可 分成薄片,風化後呈碎片狀;泥岩層理不清晰,風化後呈碎塊狀[1]。頁岩比較 會含水,有時頁岩吸水單向膨脹最大7~9倍[2]。泥岩的液性限度為 28.3~34.1, 塑性指數為9.4~15.2 ,細顆粒(<0.074 mm)比例達 94%,黏土含量亦有 30% 以 上,遇水後會有 7~13%的回脹率,其回脹壓力為 1.3kg/cm²[3],而粗粒料夯實 泥岩具有較大吸水回脹性[4]。



圖 2 萬能試驗機模擬膨脹性粒料作用力設計圖

伍、研究過程

研究流程如圖3,過程如圖4~8。

水泥砂漿抗拉強度試體[5]及砂漿試體製作,使用0.6水灰比,因粒料吸水膨脹過程緩慢,故以萬能試驗機加載,模擬粒料膨脹力作用,藉破壞載重 P_a 、破壞類型、破壞面面積 A_c 、砂漿體抗拉強度 σ_t 、及破壞面與水平面夾角 θ 等,分析膨脹性粒料造成砂漿試體破壞機制,並驗證理論推導之合理性。

在試驗設計上探討不同水泥砂漿比(1:5、1:4、1:3)、不同粒料破裂截面直徑(d=1.2、2、3.4 cm)、不同粒料埋設深度(h=1、2、3、4、6 cm)、不同試體尺寸($12 \times 12 \times 12 \text{ cm}^3$ 、20×20×20 cm³)等膨脹性粒料對無筋混凝土結構物劣化影響。



圖3 試驗過程流程圖



問題思考



同學討論



請教老師



請教老師



資料查詢



專家訪談

圖4 問題思考、同學討論、請教老師、資料查詢、專家訪談過程



初期測試-磨頁泥岩



初期測試-磨完待測頁泥岩



初期測試-測試頁泥岩吸水膨脹性



材料準備-取砂



材料準備-砂過篩



材料準備-砂包裝待用

圖5 初期測試及材料準備過程



模具設計研討



模具切割、分類、完成準備



模具組裝程序測試



模具組裝加工



模具组裝完成成品特寫



萬能試驗機加載承壓鋼模桿件

圖6 模具設計及製作







砂浆填模



砂浆填模完成



砂漿初凝後取出預埋管、包保鮮膜養護



製作抗拉試驗試體並養護

圖7 試體製作過程



砂漿試體拆模完成測試準備



使用萬能試驗機加載



慢速加載直到破壞



砂漿試體破壞參數量測



不同粒料深度破壞情形



砂漿試體抗拉試驗

圖8 測試過程

陸、研究結果

- 一、理論分析
 - (一) 廣義虎克定律 [6][7]



 σ_z , $l + \varepsilon_z$

圖9 受多軸向應力作用單元體之各軸應變量示意圖

圖9之應力單元體,承受三座標軸方向力量作用,產生了全不為零之 σ_x 、 σ_y 與 σ_z 正交應力,而相應之三座標軸方向正交應變分別為 ε_x 、 ε_y 與 ε_z 。假設三座標軸 方向上(1)每一座標軸方向上之應力與產生應變之載重成線性關係、(2)任一方向已知 應力所產生之變形很小,且此變形不影響其他方向應力作用下之應變,因此,可使 用重疊原理以正交應力 σ_x 、 σ_y 與 σ_z 表出正交應變 ε_x 、 ε_y 與 ε_z ,即

$$\varepsilon_{x} = + \frac{\sigma_{x}}{E} - \frac{\upsilon \sigma_{y}}{E} - \frac{\upsilon \sigma_{z}}{E}$$

$$\varepsilon_{y} = - \frac{\upsilon \sigma_{x}}{E} + \frac{\sigma_{y}}{E} - \frac{\upsilon \sigma_{z}}{E}$$

$$\varepsilon_{z} = - \frac{\upsilon \sigma_{x}}{E} - \frac{\upsilon \sigma_{y}}{E} + \frac{\sigma_{z}}{E}$$
($\overline{z} \sqrt{1}$)

上式即為廣義虎克定律,其中 ν 値為包松比(Poisson ratio)。

(二)多軸應力作用下單元體之體積變化 [6][7]

如圖9所示,單元體在受拉或受壓應力作用下之體積改變為

$$V = (1 + \varepsilon_x) \times (1 + \varepsilon_y) \times (1 + \varepsilon_z) \qquad (\overrightarrow{x} 2)$$

因為 ε_x 、 ε_y 與 ε_z 比起一單位小得很多,故其乘積更是微小,因此,式1展開 式中之應變乘積項可以刪除得

$$V = 1 + \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \tag{\vec{z}}$$

若以e表示單元體之體積變化,可以得到

$$e = V - 1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \qquad (\vec{x} 4)$$

因為單元體之原體積為一單位體積,故以e即可表示單位體積之變化率。將 式1之正交應變 ε_x 、 ε_y 與 ε_z 代入式4,經整理簡化後得

$$e = \frac{1 - 2\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \tag{$\pi \zeta_z$}$$

(三) 吸水膨脹性粒料單元體受砂漿束制之體積變化

假設

- 1、 粒料在吸水膨脹過程中仍為一均質且均向材料,其E值及 v 值均保持相同。
- 束制粒料之砂漿體,於未受粒料膨脹應力破壞前,粒料膨脹作用於砂漿體上

 各方向應力均相同,設為σ_s。

吸水膨脹性粒料於膨脹過程中受砂漿束制,相對是砂漿施加多軸壓應力於膨 脹粒料上,當束制之砂漿未破裂前,粒料膨脹作用於砂漿上各方向應力,與砂漿 施加於膨脹粒料上之作用應力均為σ_s,則由式5得

$$e = -\frac{3(1-2\nu)}{E}\sigma_s \qquad (\pm 6)$$

(四) 粒料膨脹對砂漿體施加之應力

想像圖9為未束制經吸水膨脹後之粒料單元體,若其未吸水前之原粒料體積 $\beta V_0 (V_0 < 1),當受到砂漿束制應力 \sigma_s 作用後,使吸水後之粒料體積膨脹受限,$ 11/11 假設吸水後之粒料體積在砂漿破裂前,完全被束制住而粒料體積並未膨脹,因此 ,粒料在砂漿試體內吸水而膨脹受束制之情形,相當於在原未束制之吸水膨脹粒 料之四周施加多軸應力,則所需之砂漿束制應力σ_s可由式6推得

$$\sigma_s = -\frac{E}{3(1-2\nu)} \times (1-V_0) \tag{(₹7)}$$

(五) 砂漿體束制應力

圖10為膨脹性粒料造成試體錐形狀破裂示意圖,破壞面與水平面交角為 θ , 粒料膨脹應力為 σ_s ,砂漿體破裂面之面積為 A_c ,粒料破裂處外露粒料面之截平面 面積為 A_a 。

圖11為破壞錐形體之分離體圖,其破壞情形係由於粒料膨脹力產生沿破裂面 垂直方向之拉應力,當拉應力超過砂漿體之抗拉應力時,砂漿體即開始開裂,而 於破裂面上砂漿體所受拉應力為σ_t(x, t),是位置及時間的函數,並假設成線性分 佈。

在破裂發生之初始時間點上

粒料膨脹力
$$P_a \times \cos \theta =$$
砂漿體抗拉力 P_t 之總和

即

$$\sigma_s \times A_a \times \cos \theta = (average \ \sigma_t(x)) \times A_c \qquad (\ \exists \ \$)$$

其中圖11點A處砂漿體在傾角θ處所受之拉應力大於砂漿體之抗拉強度。

式8中之砂漿體抗拉應力 σ_{ct}可由抗拉強度獲得,剪力強度v_{ct}可由剪力試驗獲得,粒料破裂面積、砂漿體破裂面積及角度可經實際個案觀察及試驗結果估算。

(六)破壞面砂漿體所受拉應力

由圖11破裂面上應力分佈可知,若由試驗過程中實際破壞個案之粒料膨脹力 *Pa*、破壞面與水平面交角為θ、錐形砂漿體破裂面表面側直徑x、粒料側破裂直徑 d、高度h、砂漿體抗拉強度σ_{ct}均可求得,則由式8,可求解破壞發生之時間點時 ,破裂面上砂漿體所受拉應力σ_t(x)之分佈。即

$$P_a \times \cos \theta = \frac{1}{2} \sigma_{ct} \left[2\pi (\frac{d}{2} + \frac{1}{4}(x - d) - \frac{x_1}{2})(\frac{1}{2}(x - d) - x_1) \tan \theta \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{x_1}{\frac{1}{2}(x - d) - x_1} \sigma_{ct} \right] \left[2\pi (\frac{d}{2} + \frac{1}{2}(x - d) - x_1 + \frac{x_1}{2})(\frac{x_1}{\frac{1}{2}(x - d) - x_1} h) \right]$$

由試驗結果 $P_a \cdot \theta \cdot x \cdot d \cdot h \cdot \sigma_{ct}$ 均可量測求得,則可代入上式,求 x_l 値,而 σ_t (x)將可求解。



圖 10 粒料膨脹應力造成砂漿破裂示意圖



圖 11 粒料膨脹應力造成砂漿體破裂局部放大示意圖

(七) 試驗過程破壞模式分類

以萬能試驗機加載,模擬圖11中之粒料膨脹力。因試驗受試體/粒料尺寸 比無法過大、及試驗底部承壓鐵塊開孔無法擴大等限制,使前述之錐形體破壞 模式,在有些個案中可能不會發生,考慮砂漿體表面束制,可能破壞模式有四 類: 1、模式 I :

錐形體破壞,如圖12所示,加載過程中砂漿體抵抗破壞之錐形體表面未受到 束制影響。發生破壞之條件如式8所示。



圖12 砂漿體破裂模式 I 示意圖

2、模式Ⅱ:

錐形體與支承作用力聯合作用破壞,如圖13所示,加載過程中砂漿體抵抗破 壞之錐形體表面受到束制影響,惟此時束制所形成之支承作用力之影響性尙小, 將有如支點作用,加載力量作用在支點的一端,而另一端在被頂起的過程中會引 發張應力而使試體劈裂,形成整個頂蓋與試體分離而破壞。



圖13 砂漿體破裂模式Ⅱ示意圖

3、模式Ⅲ:

作用力所形成之彎矩造成試體沿作用力方向劈裂。錐形體與支承作用力聯合作 用破壞,如圖14所示,加載過程中砂漿體抵抗破壞之錐形體表面受到束制影響,此 時束制所形成之支承作用力之影響性已較模式II情形高很多,而且加載作用力對試 體所形成之作用力並未使試體沿作用力垂直方向劈裂,此時其破壞模式為:當作用 力作用時所形成之彎矩,造成試體表面在沿作用力垂直方向上承受很大之拉力,當 超出試體抗拉強度時,隨即沿作用力平行方向劈裂。

4、模式Ⅳ:

錐形體與支承作用力聯合作用破壞,如圖15所示,加載過程中砂漿體抵抗破壞 之錐形體表面受到束制影響,此時束制所形成之支承作用力之影響性已較模式Ⅱ情 形高很多,而且加載作用力對試體所形成之彎矩作用力並未使試體沿作用力平行方 向劈裂,此時其破壞模式為:當錐形體之初期破壞面形成,隨即沿作用力垂直方向 劈裂,形成整個頂蓋與試體分離破壞,此時劈裂蓋板之厚度較模式Ⅱ為高,而破壞 面亦較模式Ⅱ平整。



圖14 砂漿體破裂模式Ⅲ及Ⅳ示意圖

二、試驗結果

表1列出萬能試驗機加載之試驗結果。

(一)破壞模式

前述四種破壞模式在試驗過程中均有發生個案,如圖15所示。

表2顯示砂漿抗拉強度隨水泥使用量增加而增加,惟水泥:砂=1:5之砂漿,當 其砂漿比例調整為1:4時,其砂漿抗拉強度增加幅度為32.4%,而砂漿之水泥用量 再增加至1:3時,其砂漿抗拉強度僅再增加3.3%。

由表1觀察不同水泥砂漿強度之破裂模式及觀察圖16其砂漿束制力可知,在 砂漿體受到束制時,水泥砂漿強度與破壞模式間未發現明顯之關聯性,因此,水 泥砂漿強度與破壞錐形體之各種參數間,例如破壞面直徑、破壞面面積、破壞面 傾角等之關聯性當然亦不明顯。



(a) 砂漿體破裂模式 I



(b) 砂漿體破裂模式Ⅱ



(c) 砂漿體破裂模式Ⅲ



(d) 砂漿體破裂模式Ⅳ

圖15 試驗過程發生四種破壞模式

但就同一種破壞模式間之比較,確實可以發現砂漿束制力與水泥砂漿強度成正

相關,以水泥:砂=1:5及1:4,粒料埋設深度同為2 cm之砂漿試體為例,二者之破壞模式均為模式 I,由圖16顯示,砂漿體束制力隨水泥用量增加,而有33.3%之增加幅度,與砂漿抗拉強度增加幅度32.4%相符合。

另一方面,觀察圖16中水泥:砂=1:4及1:3,粒料埋設深度同為2 cm之砂漿束制力 ,因二者之破壞模式分別為 I 及 II,後者因而增加了外加束制的影響,使得其試驗 砂漿束制力較前者增加8.3%,確實高於砂漿抗拉強度增加量3.3%,與試驗破壞模式 所產生之趨勢吻合;而對於粒料埋設深度為4cm之試驗,水泥:砂=1:4及1:3,二者試 驗結果之破壞模式與前相反,分別為 II 及 I,因此,由圖16中觀察到後者較前者之 試驗砂漿束制力僅高出2.0%,低於砂漿抗拉強度增加量3.3%亦屬合理。

	試體尺寸 (cm*cm*cm)	砂漿	粒料	粒料破裂	砂漿抗	平均					
影響因子		強度	深度	面截面直	拉強度	破裂	承載力	錐形破裂	破裂面	破裂面	
		(水泥:砂)	h (cm)	徑d (cm)	(kg/m^3)	模式	(kg)	直徑(cm)	積 (cm²)	傾角(度)	
砂漿強度(1)	12*12*12	1:5	2	2	33.9	Ι	810	8.25	44.80	35.50	
		1:4			44.9	Ι	1080	8.90	49.90	32.25	
		1:3			46.4	П	1170	9.60	52.95	28.05	
砂漿強度(2)	12*12*12	1:4	4	2	44.9	П	2347	10.47	125.87	44.70	
		1:3			46.4	Ι	2393	8.80	95.00	50.63	
粒料破面截 面直徑(1)	12*12*12	1:4	2	1.2	44.9	Ι	667	7.10	24.53	32.20	
				2		Ι	1080	8.90	49.90	32.25	
				3.4		Ι	1033	8.63	61.33	40.00	
粒料破面截	12*12*12	1:4	4	1.2	44.9	П	2200	9.20	86.20	—	
面直徑(2)				2		П	2347	10.47	125.87	44.70	
粒料深度(1)	12*12*12	1:4	2	2	44.9	Ι	1080	8.90	49.90	32.25	
			4			Π	2347	10.47	125.87	44.70	
粒料深度(2)	12*12*12	1:3	2	2	46.4	Π	1170	9.60	52.95	28.05	
			4			Ι	2393	8.80	95.00	50.63	
粒料深度(4)	20*20*20	1:4	1.15	2	44.9	Ι	300	5.25	11.75	35.35	
			2.45			Ι	870	9.00	58.90	35.35	
			3.45			Ι	1520	10.25	101.70	39.95	
			4.00*			Ι	2130	14.50	215.45	36.00	
			6.20			IV	3400	—	_	—	
試體大小(1)	12*12*12	1.4	2	2	44.9	Ι	1080	8.90	49.90	32.25	
	20*20*20	1.4				Ι	860	9.00	58.90	35.35	
試體大小(1)	12*12*12	1:4	4	2	44.9	П	2347	10.47	125.87	44.70	
	20*20*20					Ι	2130	14.50	24.30	36.00	

表1 以萬能試驗機加載之試驗結果一覽表

*其中有一組破壞模式爲模式Ⅲ

表2 不同砂漿配比抗拉強度

配比(水泥:砂)	1:5	1:4	1:3
平均抗拉強度(kg/cm ²)	33.9	44.9	46.4



粒料深度 4 cm

水泥:砂 配比

圖16 水泥砂漿強度改變對膨脹性粒料破壞砂漿體之特性影響

(三) 粒料破裂截面直徑改變之影響

試驗設計粒料破裂截面直徑,是要探討粒料尺寸大小之影響,同時亦是代表 了不同粒形之粒料,其擺置方向性之影響。

由表1觀察不同粒料破裂截面直徑之破裂模式及觀察圖17其砂漿束制力可知,在砂漿體受到束制時,對於同一種粒料埋設深度試驗而言,粒料破裂截面直徑 在試驗尺寸1.2~3.4 cm範圍內,確實均形成相似之破壞模式,例如,粒料埋設深 度為2 cm者,其破壞情形均為模式 I,而粒料埋設深度為4 cm者,其破壞情形均 為模式 I.。而破壞面傾角及砂漿束制力均會隨粒料破裂截面直徑增加而有增加趨 勢。



粒料破裂截面直徑, cm

圖17 粒料破裂截面直徑改變對膨脹性粒料破壞砂漿體之特性影響

(四) 粒料埋設深度改變之影響

由表1觀察不同粒料埋設深度之破裂模式及觀察圖18其砂漿束制力可知,以 20×20×20 cm³試體爲例,在砂漿體受到束制時,隨粒料埋設深度增加,其破壞模 式會由模式 I 逐漸改變至模式IV,此結果與第陸之一之(七)節之討論相當一致。

圖18以20×20×20 cm³試體為例可知,同一粒料破壞截面直徑,所產生之錐形 破裂面傾角差異性不大,角度約在35~40度範圍;而錐形破裂面之面積因粒料埋 設深度增加,亦即破壞錐形體之高度增加,而使得破壞體表面積增加,因此,觀 察到砂漿束制力隨粒料埋設深度增加而增加確實合理。

(五) 試體尺寸改變之影響

試體尺寸愈大,愈能模擬粒料在實際結構物上膨脹性粒料之影響,由表1可 知,當粒料埋設深度為2 cm時,12×12×12 cm³試體之破壞情形與20×20×20 cm³者 同為模式Ⅰ,但當粒料埋設深度增加至4 cm時,12×12×12 cm³試體之破壞情形改 變為模式Ⅱ,而20×20×20 cm³試體仍維持模式Ⅰ之破壞狀況,故試驗設計以20×20 ×20 cm³試體所得之試驗結果較具代表性。

由圖19亦可明顯發現,在相同砂漿配比、粒料尺寸及粒料埋設深度情形下, 12×12×12 cm³試體所量測到之砂漿束制力,均高於20×20×20 cm³試體所得結果, 顯示12×12×12 cm³試體因尺寸較小,在試驗的過程中,受到外部束制之影響較20 ×20×20 cm³試體為高。而其影響性差異,亦會隨粒料埋設深度之增加而降低,以 粒料埋設深度2 cm為例,12×12×12 cm³試體所量測到之砂漿束制力高出20×20×20 cm³試體所得結果25.6%;相對地,當粒料埋設深度增加至4 cm時,12×12×12 cm³ 試體所量測到之砂漿束制力僅高出20×20×20 cm³試體所得結果10.2%。

柒、討論

由前述分析可知,採取本研究試驗設計,欲探討膨脹性粒料對砂漿劣化影響,以20× 20×20 cm³試體所得之試驗結果較具代表性,因此,本研究將進一步探討其試驗結果。

由圖20可知,預設粒料破裂截面直徑為2 cm時,所得之砂漿束制力會隨粒料埋設深度

20/20

增加而增加,亦即,當粒料膨脹壓力固定,粒料所在位置距離試體表面愈遠時,則粒料膨脹力造成試體破裂之機會愈小,當然,若知道粒料之膨脹應力,將可評估其影響深度。



粒料表面距試體表面深度, cm

圖18 粒料表面距試體表面深度改變對膨脹性粒料破壞砂漿體之特性影響



試體尺寸, cm*cm*cm

圖19 試體尺寸改變對膨脹性粒料破壞砂漿體之特性影響

由圖20中粒料埋設深度(x)與砂漿束制力(y)之關係式y=148.46x²-134.47x+266.32可以判斷,若文獻記載頁泥岩之膨脹壓力為1.3 kg/cm²[3],則粒料埋設1.15 cm深度時,則「理論上」粒料破裂截面積達到230 cm²(15.2 cm×15.2 cm),將會造成試體破裂,判斷巨積混凝

22/22





土結構物若誤用膨脹性粒料,因其設計強度 不及本研究所使用抗拉強度,且受周邊其他 膨脹性粒料影響,則其所造成之危害,將更 甚於前述研究之觀察。

另由圖20中粒料埋設深度(x)與砂漿束 制力(y)之關係式y=148.46x²-134.47x+266.32 可以判斷,20×20×20 cm³試體之試驗結果亦 因粒料埋設深度增加而受外部束制力影響 ,因此,要使用上述關係式向外推算試驗範 圍外之結果,例如埋設深度與砂漿束制力關 係,將會產生誤判。

雖然如此,我們亦可由圖9及式8,輔以 試驗結果,加以評估誤用膨脹性粒料之危害 程度。依20×20×20 cm³試體之試驗結果,圖 11中 x_1 值及其所佔圖11中A點至錐形體破壞 外緣之水平距離((x-d)/2)比值,計算如表3所 示。由圖21試體20×20×20 cm³試驗過程粒料 埋設深度(x)與 x_1 值與(x-d)/2比值(y)關係可知 其直線迴歸關係式為y=0.0472x+0.1716。由 圖22試體20×20×20 cm³試驗過程粒料埋設 深度(x)與錐形破裂面傾角(y)關係可知其直 線迴歸關係式為y=1.7096x+32.636。

由上述關係,我們可以推估工程上若誤 用了直徑為d cm之頁泥岩作為粗粒料(膨脹 應力為1.3 kg/cm²),埋設深度為h cm之情形 下,水泥:砂=1:4之砂漿體(抗拉強度為44.9 kgf/cm²)所能提供之束制能力為*P* kg,其關 係式如式11所示。

23/23

$$P = \left[\frac{17.625 \tan \theta \left[x^2 - 4x_1 + 4x_1^2 - d^2 \right]}{282(x - x_1)(x_1^2 h)/(x - 2x_1 - d)^2} \right] / \cos \theta \qquad (\pm 11)$$

經試驗結果代入式11進行驗算發現,式11計算式確實可用以推估膨脹性粒料在「理想 性」破裂模式下對砂漿體之劣化行為。

以誤用直徑5 cm之頁泥岩作粗粒料為例,若粒料所在位置之深度由0.1 cm至1.5 cm,依 式11計算砂漿體之束制力結果如表4所示。直徑5 cm之頁泥岩的膨脹作用力概為25.2 kg,而 砂漿體束制能力隨粒料埋設深度減少而遞減,由實際結構物之破裂個案分析,可以發現表 4內所列之「理想性」砂漿體束制力,當粒料埋設深度較小時,可能永遠無法發揮,因為 砂漿材料在大區域性之行為表現較為一致,但在小區域範圍時,材料不均勻性特性影響性 隨即增加,所以表象上直徑5 cm之頁泥岩膨脹作用力為25.5 kg,連覆蓋0.1 cm砂漿厚度都 可以加以束制,但實際的情形則是在砂漿體厚度薄時,錐形破壞體之破壞面無法同時發揮 作用,因此,可以讓25.5 kg的膨脹作用力產生數倍的破壞效應,觀察實際結構物破壞情形 發現,往往連1 cm砂漿厚度均可以加以破壞,因此,其對厚度較薄之砂漿體破壞能力,由 實際的觀察,可能具有超過10倍以上的破壞力,故不可不慎。

另一方面,由實際個案發生狀況亦可瞭解,當膨脹性粒料埋設深度較深時,因砂漿體 束制能力較能夠充份發揮,當然具有一定之束制效果。

值得注意的是,一般結構物上受有外力作用,當結構體同時具有膨脹性粒料,及受到 外部拉應力作用時,則膨脹性粒料之破壞效應將更爲明顯而加劇。

至於維修的方式,應控除表面膨脹粒料後再進行修補,否則膨脹根源未除,無怪乎會 發生我們所見建商一再修補都沒有效果的情形。

對於誤用膨脹性粒料之處理建議,對於承壓結構物,因粒料受砂漿抗拉強度及外加壓 應力作用,應可不必全部拆除重建,處理之深度以淺層挖除膨脹性粒料再進行修補,應可 滿足需求;若屬承拉結構物,則應審慎評估其安全性,再決定採取拆除重建或其他補強措 施。

Р	h	d	角度	破裂外徑x	x_{l}		
(kg)	(cm)	(cm)	(度)	(cm)	(cm)	$x_{1}/(x-a)^{+2}$	
300	1.15	2	35.35	5.25	0.3842	0.24	
830	2.40	2	35.35	8.00	0.8544	0.28	
1520	3.45	2	38.70	10.25	1.1569	0.28	
2130	4.00	2	39.95	13.00	2.2229	0.40	

表3 試體20×20×20 cm3試驗結果x1值與(x-d)/2比值



圖21 試體20×20×20 cm³試驗過程粒料埋設深度與x1值與(x-d)/2比值關係



圖22 試體20×20×20 cm³試驗過程粒料埋設深度與錐形破裂面傾角關係

Р	粒料作用力	h	d	角度	破裂外徑x	x_l	
(kg)	$P_a(kg)$	(cm)	(cm)	(度)	(cm)	(cm)	$x_{1}/(x-a)^{+2}$
40	25.5	0.1	5	32.81	5.31	0.027	0.18
82	25.5	0.2	5	32.98	5.62	0.056	0.18
126	25.5	0.3	5	33.15	5.92	0.085	0.19
172	25.5	0.4	5	33.32	6.22	0.116	0.19
220	25.5	0.5	5	33.49	6.51	0.148	0.20
271	25.5	0.6	5	33.66	6.80	0.180	0.20
322	25.5	0.7	5	33.83	7.09	0.214	0.20
376	25.5	0.8	5	34.00	7.37	0.248	0.21
431	25.5	0.9	5	34.17	7.65	0.284	0.21
488	25.5	1.0	5	34.35	7.93	0.320	0.22
546	25.5	1.1	5	34.52	8.20	0.358	0.22
606	25.5	1.2	5	34.69	8.47	0.396	0.23
667	25.5	1.3	5	34.86	8.74	0.435	0.23
729	25.5	1.4	5	35.03	9.00	0.475	0.24
791	25.5	1.5	5	35.20	9.26	0.516	0.24

表4 直徑5 cm之頁泥岩在0.1 cm至1.5 cm範圍依式15計算砂漿體之束制力

*粒料作用力之計算,在本研究分析中因為採取以萬能試驗機加以模擬之方式, 故在圖 12 中分析時,均以垂直於破裂面之作用力加以計算膨脹力,事實上,這 種計算方式會低估實際膨脹性粒料之破壞能力,因為粒料之膨脹力係垂直作用於 粒料表面分佈,非圖 9 中已將分佈力已預先乘上 cos θ後轉換為垂直力方向之計 算結果。

捌、結論與建議

一、結論

- 1. 膨脹性粒料之膨脹作用力可使用廣義虎克定義推求。
- 膨脹性粒料對具有表面束制之試體所造成之劣化行為,可區分為四種模式,實際發生案例中,因試體表面多無束制,破壞情形以錐形體破壞模式為主。
- 3. 砂漿束制膨脹性粒料能力,與砂漿抗拉強度成正相關。
- 4. 對同一深度而不同粒徑大小之膨脹性粒料,因粒徑愈大,其錐形破裂面積愈大

,故砂漿試體之束制力亦較大。

- 5. 砂漿束制膨脹性粒料能力, 隨粒料深度增加而加大。
- 進行維修時,應控除表面膨脹粒料後再進行修補,否則膨脹根源未除膨脹爆裂 壓力仍在,會發生修補無效的情形。
- 對於承壓結構物誤用膨脹性粒料,應可不必全部拆除重建,處理之深度以淺層 挖除粒料再進行修補,應可滿足需求;若屬承拉結構物,則應審慎評估其安全 性,再決定採取拆除重建或其他補強措施。

二、建議

進階研究,可以本研究作為基礎,以隨機混合膨脹性粒料方式製作試體,探 討實務上可能發生之混合料互制問題。

玖、參考資料

- 1. http://www.geotech.org.tw/7-3-1guide65.htm
- 2. http://www.ymsnp.gov.tw/html/chi/yangming/frog/frog47/frog47_3.htm
- 田永銘、李德河,1994年,「黏土質材料的吸水回脹速率」,中國土木水利工程學刊, 第六卷,第二期,第223-232頁。
- a. 趙皓昇,「粒徑對夯實泥岩工程特性之影響」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文 ,台北,民國七十四年。
- 5. ASTM C190, "Test for Tensile Strength Cement Mortars."
- 6. 劉賢淋, 1987年, 材料力學, 天佑出版社, 第8-1~8-7頁。
- 7. 陳宏州, 2003年, 工程力學(II), 矩陣出版股份有限公司, 第277~316頁。
- 8. 楊錦懷,2000年,建築材料(I),大中國圖書公司,第62~64頁。
- 9. 吳琨祥, 2001年, 建築工程實習(Ⅲ), 大中國圖書公司, 第76~81頁。
- 10.彭治平,2003年,建築工程實習(Ⅱ),大中國圖書公司,第2~43頁。

091202 高職組土木科 佳作、最佳團隊合作獎 膨脹性粒料造成結構物破裂原因探討及處理方案研究 主題與營建工程實務問題密切相關,可激發學習之興趣,試 驗方法模型模擬本主題之重點 夏泥岩膨脹力 時與實驗行 為尚有落差,團隊合作度高,值得肯定。