第一章 總 則

1.1 一般原則

1.緣起

「高爐爐石」簡稱高爐石，為一貫作業煉鋼廠在煉鐵過程所生產之副產物，國家標準(CNS)稱為「高爐爐碴」，屬一種卜作嵐材料。高爐石若以水淬方式冷卻，可具有潛在之水硬性，研磨成細粉添加於混凝土中會產生卜作嵐反應，而增加混凝土之晚期強度，並使混凝土更加緻密，增進其耐久性，故可適當地配合使用於水泥混凝土[1.1]。

將水淬高爐石研磨所成之細粉稱謂「高爐石粉」，若將高爐石粉添加於水泥則成為「高爐水泥」。在許多重要工程先進國家已普遍使用高爐石粉於混凝土上。尤其日本，鑑於高爐水泥具有優異的強度及抗海水、抗硫酸鹽侵蝕的能力，所以在水壩、橋樑、隧道及海堤工程上，其地方政府常指定產業界優先使用高爐水泥[1.2]。我國高爐石粉之應用雖然起步較晚，但發展速度極快，若能加以輔導正確使用，可獲得相當之效益[1.3]。

高爐石粉之應用不但可提升混凝土之品質，充分有效利用廢料資源，節省水泥之耗費，並可避免往昔未妥善利用高爐石粉時，亂加棄置所造成之環境污染問題。目前國內已相當重視「高爐石粉」之應用，據統計年用量至少達 400 萬噸，是相當可喜之現象，但深入探究其動機，大都集中應用於替代混凝土中之水泥，甚至可能有超過合理用量，影響品質之虞。

行政院公共工程委員會為宣導高爐石粉之正確使用，以確保達至上述「高爐石粉」使用之效益，避免高爐石粉之濫用影響混凝土工程之品質，委由國立台灣科技大學召集國內混凝土相關之產官學界，研擬本「公共工程高爐石混凝土使用手冊」(以下簡稱「本手冊」)，並經公共工程委員會所成立之「公共工程高爐石混凝土使用手冊審查小組」審訂，作為工程主辦機關、設計及施工單位、營造業及預拌混凝

土業等相關產業參考遵循，以提供高爐石混凝土之正確使用方法，確保公共工程品質。

2.目的

以高爐石粉用作混凝土的礦物摻料，有降低混凝土水合熱、提高混凝土晚期抗壓強度與耐久性、節省混凝土成本等優點，同時亦有避免高爐石粉棄置所可能造成的環境污染問題等優點。不過，使用過程若缺乏正確的方法，則反將影響混凝土與工程之品質。基於高爐石粉正確地使用於混凝土工程，有助於提升與確保混凝土之品質，故應可應用於公共工程之混凝土上。

本手冊編訂之目的主要在於提供工程界並宣導高爐石粉在混凝土工程之正確使用方法，以確保公共工程品質，更期能達到上述「高爐石粉」使用之效益。使原為廢料之資源能再有效利用則為另一期望。

3.定義

(1)高爐石粉

本手冊所稱之「高爐石粉」係指一貫作業煉鋼廠在煉鐵過程中，所生產之水淬高爐石經研磨所成之細粉。煉鐵過程中所產生之高爐石依其冷卻方式之不同，可分為氣冷高爐石及水淬高爐石，其生產流程詳第二章。早期氣冷高爐石被用於填路基，或用做混凝土骨材，因使用量有限，而大部份被做填海處理。其實水淬高爐石由於含高

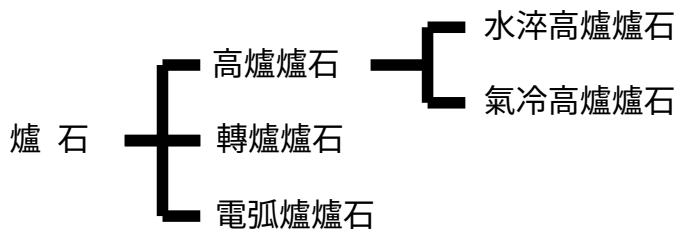


圖 1.1 爐石之分類

量玻璃質而具有潛在的膠結能力，若加以磨成細粉與水泥混合使用則產生卜作嵐反應，形成類似水泥熟料之水化物 C-S-H 膠體，與由

水泥主成分形成之水化物 C-S-H 性質相同，因此可用以適量替代水泥；另外顆粒微細之高爐石粉，若做為填加料摻用於混凝土，則可減少水泥漿中之孔隙，增加混凝土之緻密性，而增進混凝土之耐久性，亦可提升混凝土之品質。

爐石除高爐石外，尚有轉爐爐石及電弧爐石，這兩種爐石均不能做為混凝土之摻料使用，另外如前所述，高爐石依其冷卻方式之不同，又分為氣冷爐石及水淬爐石，其分類如圖 1.1 [1.1]，所示，其中僅水淬高爐石可用為混凝土之摻料。故本手冊中若稱「爐石」，必係指「水淬高爐石」，「爐石」、「高爐石」或「高爐爐石」均係其簡稱，在此特別聲明。

本手冊規定使用於混凝土工程之高爐石粉，其高爐石須符合我國標準 CNS 12223[水淬高爐爐碴]之規定 [1.4]，若以高爐水泥方式使用高爐石粉，則其高爐水泥須符合 CNS 3654[高爐水泥]之規定。高爐石粉之成分與品質受水淬程序之影響甚鉅，故使用高爐石粉時，應先確認高爐石粉之品質。

(2)高爐石混凝土

本手冊所稱之「高爐石混凝土」係指使用前項所述高爐石粉作為礦物摻料或直接使用高爐水泥之混凝土。本手冊對高爐石混凝土摻用高爐石粉之方式僅為適量替代部分水泥，以達所需功能為主。有關用以替代部分細粒料之情況，則應按相關之工程施工規範之規定。

高爐石混凝土之高爐石粉使用方式可能有三種，一為採用卜特蘭水泥，而高爐石粉於拌和混凝土時另外添加；二為採用高爐水泥，所需高爐石粉成分完全包含於高爐水泥；三為採用高爐水泥，提供部份高爐石粉，不足部份再另外添加[1.5]。目前國內預拌混凝土業者大多採用第一種方式，但為確保高爐石粉之品質及用量之精確，本手冊建議盡量採用第二或第三種方式。

4.適用範圍

本手冊所規範或建議有關高爐石混凝土之技術事項，適用於一般公共工程之一般混凝土或為增加耐久性而摻用高爐石粉之混凝土。特殊用途之混凝土，如高強度混凝土(抗壓強度超過 420 kgf/cm^2)、高性能混凝土或其他特殊混凝土，雖亦可能摻用高爐石粉，但並不全然適用本手冊之相關內容。

1.2 內容說明

高爐石混凝土雖因摻用高爐石粉而性質略有不同，但仍具一般混凝土之大部份基本性質，本手冊僅對高爐石混凝土所具較特殊之性質加以規範。故使用高爐石混凝土時，除參照本手冊所規定之事項外，並請參照中國土木水利工程學會「混凝土工程施工規範(土木 402)」[1.6]之其他有關規定。

本手冊之內容包括使用高爐石混凝土之設計者應注意事項、配比設計(高爐石粉適當用量及限制)以及施工中各階段應注意事項及所需資訊，分述如下。

1.材料

材料之品質為混凝土品質之基礎，因此本手冊對高爐石混凝土所用之各項材料均規範其品質。高爐石混凝土所需使用之材料有水泥、水、粗骨材、細骨材、高爐石粉及其他摻料等。高爐石粉在此情況主要做為膠結材料，但有時也替代做為骨材。這些材料中除高爐石粉外，其他各種材料之品質要求及品管，可完全參照土木 402 第二章之規定，本手冊無另外規定。而高爐石粉則應完全依照本手冊之規定。

高爐石依其生產方式與程序而有兩種，其中僅水淬高爐石適用於產製高爐石粉，因此高爐石混凝土應對所用之高爐石粉加以品質管制，使確實符合本手冊之規定。

基本上高爐石粉之高爐爐碴原料，其品質應符合 CNS 12223[水淬高爐爐碴]之規定。其管制之項目為高爐爐碴之化學成分與物理性質，詳如第二章。產製高爐石粉之廠商與預拌混凝土廠宜參考該章相關規定將高爐石粉納入品管作業中，以確保高爐石粉之品質。

2.配比設計

高爐石混凝土具有一些比一般混凝土較好之特性，適合於特殊之工程或環境採用，詳如第三章及第四章所述。高爐石混凝土應依據使用高爐石粉之目的及其混凝土所需求之性能，做適當之配比設計，詳如第五章所述。配比設計方面最重要的事項在適當選用高爐石粉之用量，應以能達混凝土性能要求為基本原則，但不得超出規定之限制用量。有關高爐石粉在各種情況使用量之規定，我國 CNS 及土木 402 之相關規定較不詳細，故本手冊提出日本之有關規範以供參考，以較保守之態度加以規範，應可適用於國內工程環境。

高爐石混凝土配比設計後，應經試拌確認其混凝土品質及工程性質，符合要求，方可使用。其確認請參照土木 402-88 之相關規定。

3.施工

有關高爐石混凝土拌和與產製應注意事項詳如本手冊第七章所述。一般混凝土預拌廠除應依 CNS 3090 [預拌混凝土]相關規定作業外，應特別注意高爐石混凝土之拌和均勻性與品質穩定性。

由於高爐石混凝土有部份水泥以高爐石粉取代，其強度發展較一般混凝土慢，早期強度較低，故施工時應注意澆置後之養護與拆模等作業。

高爐石混凝土施工上應注意之事項如本手冊第七章所述。施工單位在進行澆置、養護與拆模時，應依工程特性與施工環境參照本手冊之規定進行。

4.設計者注意事項

高爐石混凝土之使用，首先須工程設計者在設計時能具正確之考慮與選用，並在設計上做適當之配合，故設計者在高爐石混凝土之正確應用亦扮演相當重要之角色。為使高爐石混凝土之使用能達本手冊期望之目標，本手冊於第六章規範設計者所需之配合事項。

5.品質管理

高爐石混凝土之品質管理與檢驗應注意事項如本手冊第八章所述。該章係依照 CNS 12549 [混凝土及水泥墁料用水淬高爐爐碴粉]及行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程品質管理制度」與「公共工程施工品質管理作業要點」之要求撰寫。

1.3 本手冊之使用要點

1. 本手冊僅針對高爐石混凝土所具與一般混凝土不同之特性加以規定，故使用高爐石混凝土時，除參照本手冊之規定外，本手冊未規定之事項，可參照對中國土木水利工程學會「混凝土工程施工規範」，或其他經認可之施工規範之有關規定。
2. 高爐石混凝土之使用，須能確保其施工品質，不僅與施工者有關，業主、設計者及預拌混凝土業者亦有密切關係，均應密切配合，構成嚴密之品管系統。

3.工程設計者決定採用高爐石混凝土時，應依據工程之特性及實際工程之需要，決定所需使用高爐石混凝土之品質要求，並應提供詳細資料載明於工程圖說中，但應先充分瞭解本手冊之有關規定。

4.高爐石混凝土之使用應以摻用性能之需求為主要考量，業主、設計者及預拌混凝土業者均不宜太過重視使用高爐石粉之經濟利益。

5.高爐石混凝土之施工與一般混凝土差異不大，且可能更好施工，但仍應按土木 402 之有關規定，妥善施工，確保其施工品質。

6.高爐石混凝土之特性為強度成長較一般混凝土慢，早期強度較低，按本手冊第七章澆置、養護及拆模，為非常重要之事項，尤其應於混凝土達拆模最低要求強度之適當齡期方可拆模，應特別注意。

7.科技日新月異，除本手冊將隨時修訂更新使合時宜外，若有相關可靠之新研究成果或技術，在不違反本手冊之基本精神下，提供試拌驗證資料經工程監造單位核可者亦可採用。

參考文獻

1.1 洪文方, 「普通水泥中添加高爐熟料之影響」, 國立台灣工業技術學院碩士論文, 1985.。

1.2 林平全, 「赴日本考察水利會工程出國報告」, 經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書, 1992。

1.3 王和源,「公共工程使用高爐水泥之可行性評估」, 國立高雄科學技術學院土木系研究報告,1999, 高雄市。

1.4 中國國家標準,「預拌混凝土相關國家標準彙編」,1993。

1.5 王和源、林草英、黃兆龍,「爐石製程對水泥砂漿性質的影響」,技術學刊第二期,.pp.231-238, 1987。

1.6 中國土木水利工程學會,「混凝土工程施工規範及解說(土木402)」,1999, 台北市。

第二章 材料

2.1 高爐石粉之生產

一貫作業煉鋼廠在以高爐煉鐵過程中，每生產一噸生鐵伴隨著產生約 300 公斤的高爐石。高爐石又依其冷卻方式之不同，分為氣冷高爐石及水淬高爐石，高爐石及高爐石粉之生產流程如圖 2.1 及圖 2.2 所示。中鋼公司早期僅生產氣冷高爐石，用於路基，或用做混凝土骨材，因使用量有限，一般都視為廢棄物，而將其做填海處理。除高爐石外，另煉鋼作業所產生之轉爐石或電弧爐石不在本手冊討論範圍之內。除另有指名者外，所述「高爐石」概指水淬高爐石。

隨著中鋼之陸續擴建，產能提升，氣冷高爐石之產出量每年亦超過百萬噸，處理上亦愈感困難，加上國人環保意識及節約能源觀念逐漸抬頭，於是在 1980 年代時，開始將原來生產之氣冷高爐石，改用噴水急速冷卻，因冷卻速率甚劇，產生大量玻璃質，而形成粒狀之水淬高爐石。

高爐石由於其成分中含鈣、矽、鋁、鐵等氧化物之相圖與卜特蘭水泥熟料相近[1.1]，並具高量非晶性玻璃質而具有潛在水硬性膠結能力，若加以磨成高爐石粉與水泥混合，在與卜特蘭水泥併行之水合反應中藉由卜作嵐反應，可形成鈣、矽比較低之類似水泥熟料之低密度矽酸鈣（C-S-H）及鋁酸鈣（C-A-H）等水合物。由於高爐石與水泥性質相似，故可與水泥混合成為卜特蘭高爐水泥（簡稱高爐水泥）或作為混凝土之礦物摻料。

在國外，高爐石粉的使用已有數十年之歷史，尤其日本使用高爐水泥已有 90 年，故已經是一種十分成熟之產品，而且非常普遍地應用於許多重要工程。因高爐石混凝土具有優異的強度及抗海水、抗硫酸鹽侵蝕的能力，所以被應用在水壩、橋樑、隧道及港灣工程上，日本各地方政府在設計上列結構物時，常建議優先使用高爐水泥或高爐石粉[2.1]。

目前國內之第 I 型卜特蘭水泥中，國家標準 CNS 61[1.4]已允許添加 5%以下之高爐石粉或飛灰，但當考慮高爐石粉之替代率時，其影響可以不考慮。

在台灣，高爐石粉之使用開始於 1983 年，在土木水利工程方面之使

用較少。國內近年來，由於產官學界積極研究探討，並與國外研究成果及經驗比較[2.2]，印証高爐石混凝土的特性與效益，認為高爐石粉是值得重視與推廣之材料，目前年用量約達 400 萬噸，但大多應用在建築工程上。唯其適用性以土木、水利、港灣、地下工程等較為適宜，值得重視。

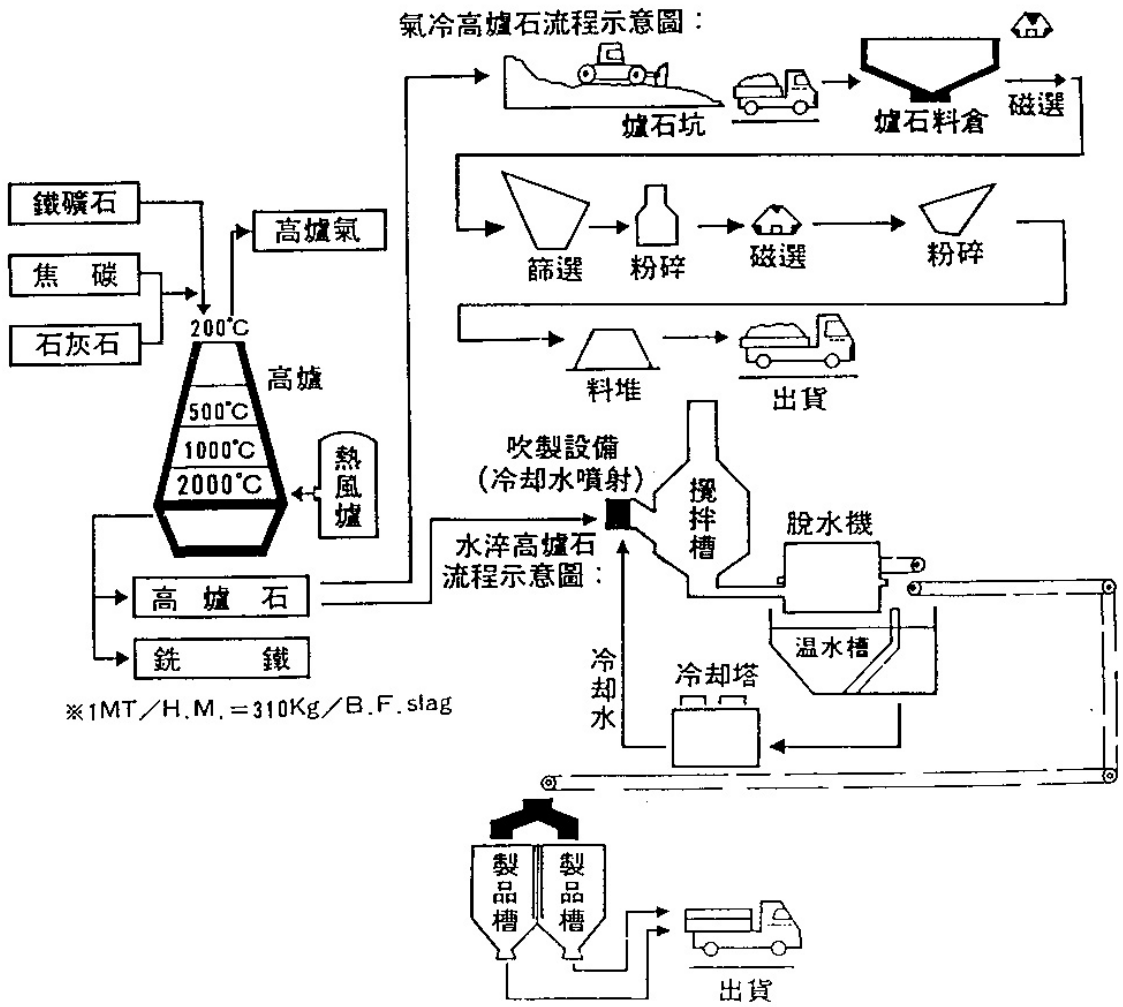


圖 2.1高爐石之生產流程示意圖[2.3]

2.2 高爐石粉之品質

1.高爐石粉之種類

符合 CNS 12223 品質之水淬高爐石經研磨後稱為水淬高爐石粉，其品質須符合 CNS 12549 之規定。水淬高爐石粉依活性指數可分為 80 級、100 級和 120 級等三級[1,4]。

2.高爐石粉之化學成份限制

高爐石粉應符合 CNS 12549 規定之成份限制，如表 2.1 所示。

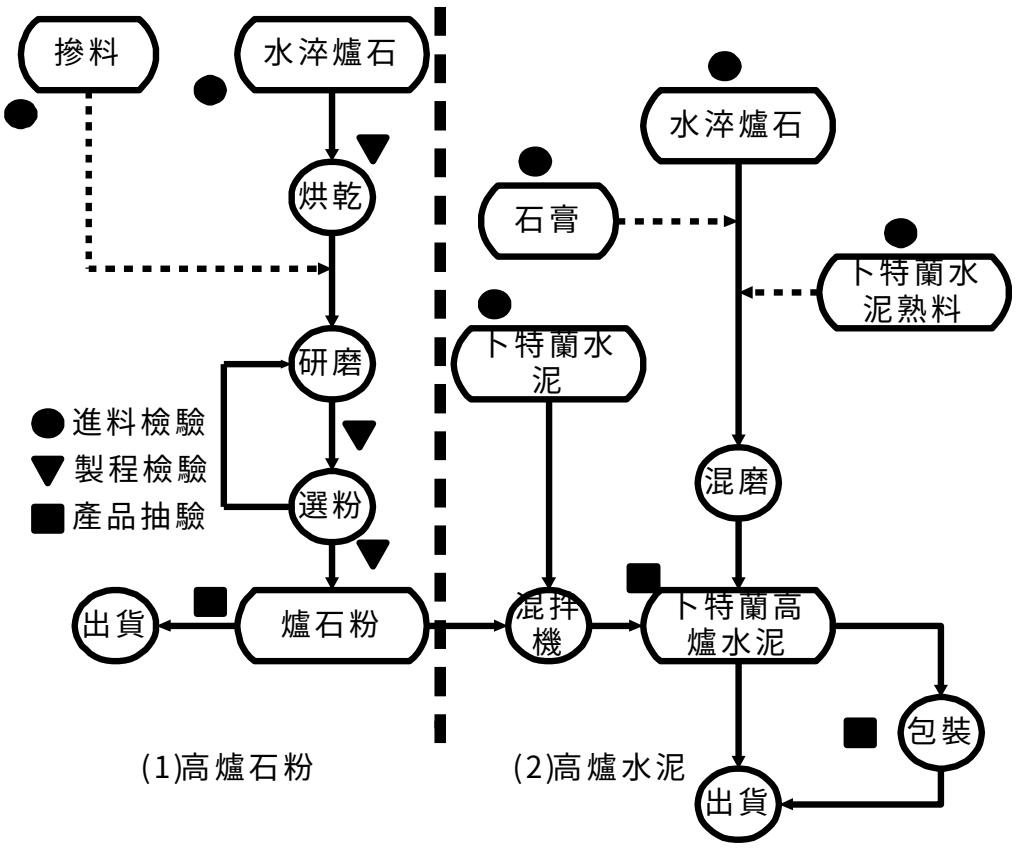


圖 2.2 爐石粉及卜特蘭高爐水泥生產流程

表 2.1高爐石粉之化學成份限制

化 學 成 份	規範(最大值)
硫化物硫（S）	2.5%
硫酸鹽離子（以 SO_3 表示）	4.0%

3.高爐石粉之物理性質

高爐石粉之物理性質應符合 CNS 12549 之規定，如表 2.2 所示，其比重以 2.80 以上為宜。

表 2.2高爐石粉之物理性質[1.4]

試 驗 項 目		規 範
細度：(1)0.045mm CNS 386 濕篩後殘留量，最大值		20%
(2)比表面積[CNS 2924 卜特蘭水泥細度檢驗法（氣透儀法）]，最小值		330㎡/kg
水淬高爐石粉墁料之空氣含量，最大值		12%
水淬高爐石粉活性指數		
7 天指數最小值	最近連續五個試樣平均值	任一試樣
80 級	--	--
100 級	75%	70%
120 級	95%	90%
28 天指數 最小值		
80 級	75%	70%
100 級	95%	90%
120 級	115%	110%

4.日本高爐石粉品質規範，依照 JIS A6206 之規定，按比表面積之大小分成三種，其品質要求如表 2.3[2.1]。一般經驗以使用比表面積 4000cm2/g 者較多，唯混凝土以高流動化或高強度為目的時，應使用 6000 或 8000cm2/g 者。

表 2.3 日本高爐石粉之品質要求[2.1].

品質項目 \ 種類		高爐石粉 4000 級	高爐石粉 6000 級	高爐石粉 8000 級
比重		2.8 以上		
比表面積（cm^2/g）		3000~5000	5000~7000	7000~10000
活性指數（%）	齡期 7 天	55 以上	75 以上	95 以上
	齡期 28 天	75 以上	95 以上	105 以上
	齡期 91 天	95 以上	105 以上	105 以上
流度（%）		95 以上	90 以上	85 以上
氧化鎂 MgO（%）		10 以下		
三氧化硫 SO_3（%）		4.0 以下		
燒失量（%）		3.0 以下		
氯離子 Cl^-（%）		0.02 以下		

2.3 高爐水泥之品質

1.高爐水泥之型別

水淬高爐石經研磨後與卜特蘭水泥混合或水淬高爐石與卜特蘭水泥熟料、石膏等混磨而成者稱為卜特蘭高爐水泥(以下簡稱高爐水泥)，其生產流程如圖 2.2 所示。依照中國國家標準 CNS 3654 之規定，高爐水泥有下列型別[1.4]：

IS 型：用於一般混凝土構造之卜特蘭高爐水泥
IS-A 型：用於一般混凝土構造之輸氣卜特蘭高爐水泥
IS(MS)型：用於中度抗硫酸鹽之卜特蘭高爐水泥
IS-A(MS)型：用於中度抗硫酸鹽之輸氣卜特蘭高爐水泥
IS(MH)型：用於中度水合熱之卜特蘭高爐水泥
IS-A(MH)型：用於中度水合熱之輸氣卜特蘭高爐水泥
IS(MS-MH)型:用於中度抗硫酸鹽及中度水合熱之卜特蘭高爐水泥
IS-A(MS-MH)型:用於中度抗硫酸鹽及中度水合熱之輸氣卜特蘭高爐水泥

2.高爐水泥之化學成分限制

高爐水泥應符合 CNS 3654 規定之限制，如表 2.4 所示。

表 2.4 卜特蘭高爐水泥 (IS及 IS-A) 化學成分之限制

化 學 成 分	規定最大值（%）
三氧化硫（SO_3）	3.0
硫化物硫（S）	2.0
不溶殘渣	1.0
燒失量	3.0

3.高爐水泥之物理性質

高爐水泥之物理性質應符合 CNS 3654 之規定[1.4]，如表 2.5 所示；高爐石粉所佔之質量應在 25%至 65%之間。

表 2.5 高爐水泥之物理性質[1.4]

水 泥 種 類		IS	IS-A	IS(MS)	IS-A(MS)
細度：試驗篩 0.045mm CNS 386（試驗篩）濕法篩餘量，最大值，%		18.0	18.0	18.0	18.0
比表面積（氣透儀法），cm^2/g (最小值) (註 1)	平均值	2800	2800	2800	2800
	任一試樣之	2600	2600	2600	2600
健度(最大值)	熱壓膨脹(%)	0.80	0.80	0.80	0.80
	熱壓收縮(%)	0.20	0.20	0.20	0.20
凝結時間(費開氏試驗)	初凝不少於（分鐘）	45	45	45	45
	終凝不多於（小時）	7	7	7	7
墁料之空氣含量[依 CNS 787 製備及試驗] (vol.%)		最大 12	19 3	最大 12	19 3
抗壓強度 MPa(kgf/cm^2) 最小值 (註 2)：	3 天	8.2(84)	6.2(63)	6.9(70)	5.2(53)
	7 天	14.5(148)	10.3(105)	12.5(127)	9.6(98)
	28 天	25.0(255)	20.0(204)	25.0(255)	20.0(204)
水合熱最大值, kJ/kg(cal/g)(註 3)	7 天	290(70)	290(70)	290(70)	290(70)
	28 天	330(80)	330(80)	330(80)	330(80)

註 1: 此類水泥之視比重較卜特蘭水泥為低，故在使用氣透儀時，試樣之質量應依照 CNS 2924 [卜特蘭水泥細度檢驗法（氣透儀）]之方法決定之，而細度必須用實測比重代入 CNS 2924中之適當公式計算之。又該平均值（最小值）及任一試驗之最小值僅於購方特別要求情形下提供之。

註 2: 墁料為水泥 1份及級配標準砂 2.75份（依重量計），依照 CNS 1010製備及試驗。

註 3: 本規定適用於中度水合熱（MH）時，其抗壓強度應以表內數值之 80%為準。

4.日本之高爐水泥品質規格

中國國家標準 CNS 3654 中高爐石之含量係參照美國 ASTM 標準，由 25%至 65%，範圍甚廣並以功能為分類取向，故須經過性能測試後再反推適宜之高爐石粉摻量，對於高爐石水泥之產製為性能導向，使用較不方便。相對於此，日本之高爐水泥則依水泥中之高爐石粉含量，分成 A 種（5~30%）、B 種（30~60%）、C 種（60~70%）等三種，以適應不同之用途，不但產製較方便，對於不同結構物之使用易於選用。其分類及品質規範可參考 JIS R5211(1997)，如表 2.6 所示，其中 A 種較適用於建築工程；B 種較適用於土木工程，其中一般工程高爐石粉含量為 40~50%，巨積混凝土爐石粉含量 50~60%；C 種較適用於大壩工程。

表 2.6 日本高爐水泥之分類及品質規範[2.1]

項　目		高爐水泥種類		
		A 種	B 種	C 種
高爐石粉含量(質量%)		5~30	30~60	60~70
比表面積(cm^2/g)		3000 以上	3000 以上	3300 以上
凝結時間(吉爾摩試驗法)	初凝（分鐘）	60 以上	60 以上	60 以上
	終凝（小時）	10 以下	10 以下	10 以下
健度試驗		良	良	良
抗壓強度(MPa)最小值	3 天	12.5	10.0	7.5
	7 天	22.5	17.5	15.0
	28 天	42.5	42.5	40.0
氧化鎂(MgO)(%)		5.0 以下	6.0 以下	6.0 以下
三氧化硫(SO_3)(%)		3.5 以下	4.0 以下	4.5 以下
燒失量(%)		3.0 以下	3.0 以下	3.0 以下

2.4 水泥、骨材及拌和水

1.水泥

當高爐石粉用為混凝土摻料時，所用之水泥品質須符合 CNS 61 之規定，一般都使用 I 型水泥為標準。使用 II 型中度水合熱及中度抗硫酸鹽水泥或III型早強水泥時，須先了解其混凝土的發熱性狀況或強度發展狀況之後才可使用。

對於使用之水泥及高爐石粉之性能，無確實把握或實用例，以供預測混凝土狀況時，應依據土木 402-88 規範[1,6]先行試拌，確認其性能後才可使用。

2骨材

高爐石水泥混凝土用之粗細骨材（粒料），其性能與普通混凝土一樣，須符合 CNS 1240 之規定。

3拌和水

高爐水泥混凝土拌和水須符合 CNS 13961 之規定。

2.5 摻料

高爐石混凝土使用之摻料與普通卜特蘭水泥混凝土使用之摻料大致相同，沒有特別差異。

1.化學摻料有界面活性作用，使新拌混凝土或硬化混凝土之性質得到改善，諸如工作度、浮水、凝結時間、流動性、抗壓強度、抗彎強度、長度變化、中性化、凍結融解作用及對化學物質侵蝕之耐久性、水合熱等之性能。

常用之化學摻料有輸氣劑（CNS 3091）;減水劑、緩凝劑、早強劑、高性能減水劑、高性能減水緩凝劑等（CNS 12283）;流動化劑（CNS 12833），各摻料均須符合相關規範之規定。

2.使用膨脹劑、矽灰、飛灰（CNS 3036）於高爐石混凝土時，須各符合相關之規範。

參考文獻

2.1 日本土木學會，「高爐石粉末應用於混凝土施工指針」，平成 8 年。
2.2 黃兆龍主編，「高性能混凝土設計與應用」，科技圖書股份有限公司， 2000。
2.3 中國鋼鐵公司，「爐石利用推廣手冊」

第三章 高爐石混凝土之性質

3.1 一般事項

如第一章之定義，高爐石混凝土係指使用高爐石粉作為礦物摻料或直接使用高爐水泥之混凝土，其性質除具一般混凝土之基本性質外，由於高爐石粉存在混凝土中，高爐石粉與水泥材料會產生卜作嵐反應，而使混凝土具有較一般混凝土不同之機理。另外由於高爐石粉之使用方式主要在替代部份水泥做為膠結材，將使混凝土中之水泥量降低，對混凝土之性質也有影響，在使用考慮、設計及施工上均應注意。

3.2 主要水化反應機理

高爐石粉在混凝土中對混凝土性質之影響，可歸納為以下三個主要機理：

1.水合作用及卜作嵐反應

高爐石粉由於含高量玻璃質，其鈣、矽、鋁氧化物之相圖與卜特蘭熟料鄰近，具潛在膠結能力(在適當熱量、濕度與鹼性環境下，始具膠結能力)；當以細粉狀與水泥混合使用，又可與水泥水合生成之氫氧化鈣及鹼發生卜作嵐反應，形成類似卜特蘭水泥之水合物 C-S-H 與 C-A-H 膠體，因此可用以適量替代卜特蘭水泥；另外由於高爐石粉顆粒微細，若做為填加料摻用於混凝土中，則可增加混凝土之緻密，而增進混凝土之耐久性，更提升混凝土之長期品質。

2.顆粒堆積效應

由於通常爐石粉之顆粒較水泥顆粒細小，故將爐石粉適量摻用於混凝土中，可使其原有的顆粒堆積程度更加緻密化。一般水泥之細度約在 3,000 cm^2/g (Blaine)左右，而爐石粉則可依需要而提高研磨細度，可達 4,000、6,000 cm^2/g 或更高。故爐石粉之顆粒可填充於水泥顆粒之間，使漿體微觀結構更加緻密。

3.漿體體積效應

爐石粉之比重略小於水泥(水泥比重約為 3.15；爐石粉約為 2.90；飛灰約為 2.10)，故爐石粉以相等重量替代部分水泥時，膠結料總重量不變，但漿體實質佔有之體積會增加，亦即漿體對骨材之體積比會因而提高，有助於混凝土之工作性。

3.3 水淬爐石粉對新拌混凝土性質之影響

混凝土中若以爐石粉適量替代相等重量之水泥，對新拌混凝土之性質有以下之重要影響：

1.工作性

混凝土之工作性會改善，主要原因有二：

(1)爐石粉比重略小於水泥，混凝土中漿體之體積有所增加。

(2)爐石粉之表面較水泥不吸附水分，使游離水增加，故摻用爐石粉之混凝土，在相同之拌和水量下，其坍度略為增加。

2.坍損

由於爐石粉之水合反應較慢，故新拌混凝土之坍損會減緩。

3.凝結時間

對混凝土凝結時間之影響與混凝土之初始溫度(澆置時之混凝土溫度)有很大關係，尤以水泥用量較低之混凝土為甚。混凝土初始溫度較高(約高於 30℃)時，凝結時間沒有太大改變；若混凝土初始溫度太低(約低於 15℃)，可能會有明顯的緩凝。其影響隨爐石粉之添加量而定，在常溫(23℃)下，混凝土之初凝時間可能會延長半小時至一小時，須加以注意。

4.浮水

一般適量使用爐石粉之混凝土對浮水現象無明顯之影響，但過量使用(替代率過高且規定強度較低)或爐石粉細度偏低(顆粒較粗)時，可能會有增加浮水之現象。

3.4 水淬爐石粉對硬固混凝土性質之影響

1.強度發展

高爐石混凝土強度發展與高爐石粉之反應活性有密切關係，依 ACI 233R[3.1]資料顯示，相對於普通水泥砂漿而言，採用 120 級高爐石粉(CNS 12549)，早期(1 至 3 天)強度較低，晚期強度(7 天以後)較高；採用 100 級高爐石粉，早期(1 至 21 天)強度較低，晚期強度相同或較高；採用 80 級高爐石粉，各期強度均較低，參閱圖 3.1。

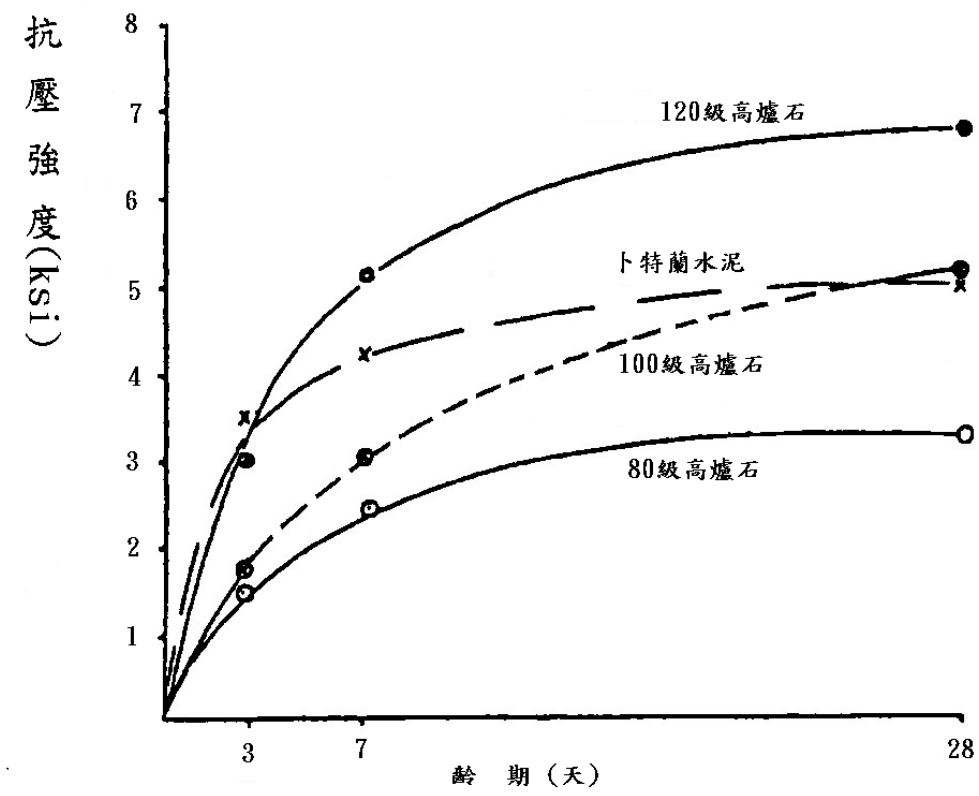


圖 3.1爐石粉水泥砂漿強度成長趨勢[3.1]
(以各級爐石粉 (替代率 50%)之標準水泥砂漿試體測得)

國內亦有相關高爐石粉以不同替代率水泥砂漿強度成長之研究結果，請參閱表 3.1。高爐石粉不同替代率之水泥砂漿強度成長趨勢如圖 3.2、3.3 所示。不同等級高爐石粉之水泥砂漿強度如圖 3.4 所示。高爐石粉水泥砂漿達到卜特蘭水泥砂漿相同強度時最少需要天數如圖 3.5 所示。

爐石粉對混凝土強度發展之影響與混凝土之水膠比、養護溫度及替代率比例亦有很大關係。水膠比愈低，尤其替代率較高時，爐石粉對混凝土規定強度之提昇愈明顯；高溫養護有助於高爐石混凝土強度(特別是早期強度)之提昇；爐石粉替代率愈高，早期強度發展愈緩慢。

表 3.1 不同等級爐石粉、替代率與強度成長之關係

卜特蘭水泥量(%)	*爐石粉替代率(%)		水泥砂漿強度(kgf/cm^2)			強度比		
	100 級	120 級	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
100	0	0	165.8	259.0	385.7	100.0	100.0	100.0
75	25	0	124.4	233.4	406.0	75.0	90.1	105.3
60	40	0	110.4	221.6	442.0	66.6	85.6	114.6
45	55	0	94.1	209.3	419.0	56.8	80.8	108.6
30	70	0	85.0	203.1	392.0	51.3	78.4	101.6
15	85	0	81.4	188.5	301.6	49.1	72.8	78.2
75	0	25	175.3	326.3	464.9	105.7	126.0	120.5
60	0	40	158.6	313.4	481.5	95.7	121.0	124.8
45	0	55	145.5	284.7	496.0	87.8	109.9	128.6
30	0	70	140.1	244.9	428.5	84.5	94.6	111.1
15	0	85	128.4	241.6	319.2	77.4	93.3	82.8

＊爐石粉 100級之比表面積為 4100㎠/g, 120級之比表面積為 5700㎠/g

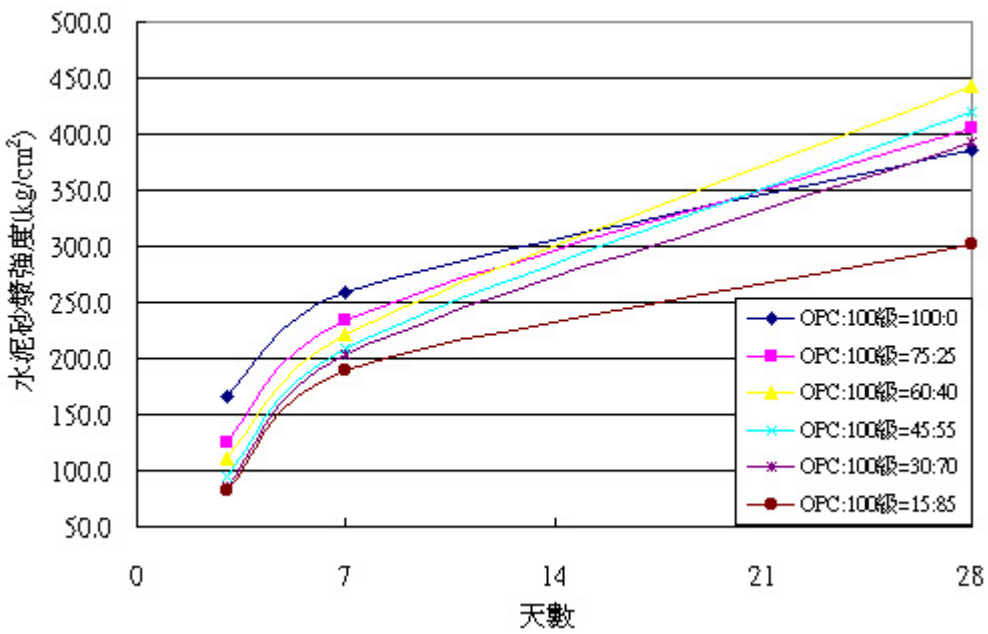


圖 3.2 高爐石粉(100 級)不同替代率之水泥砂漿強度成長趨勢

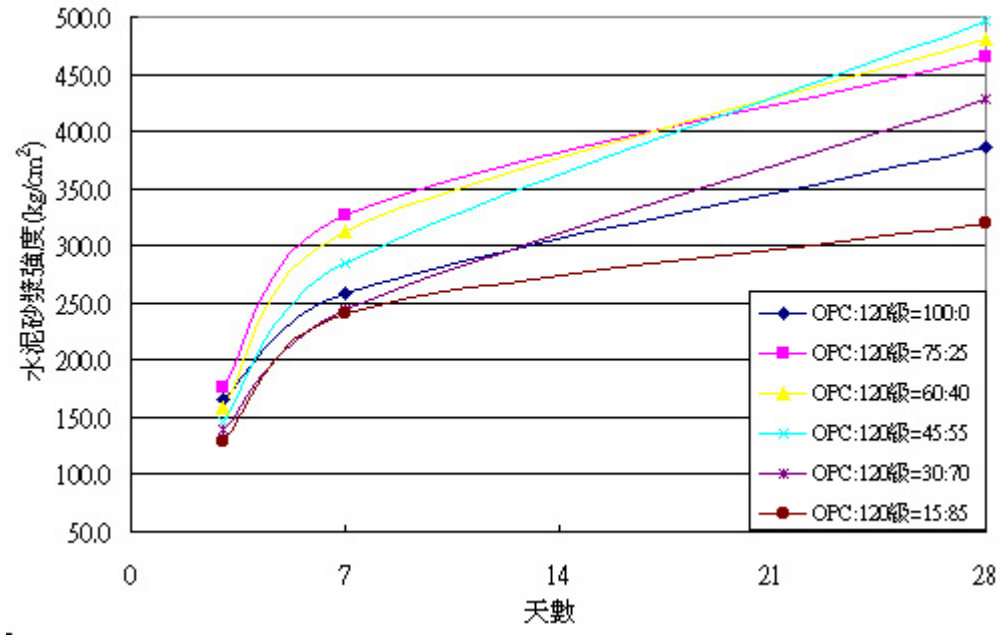


圖 3.3 高爐石粉 (120級)不同替代率之水泥砂漿強度成長趨勢

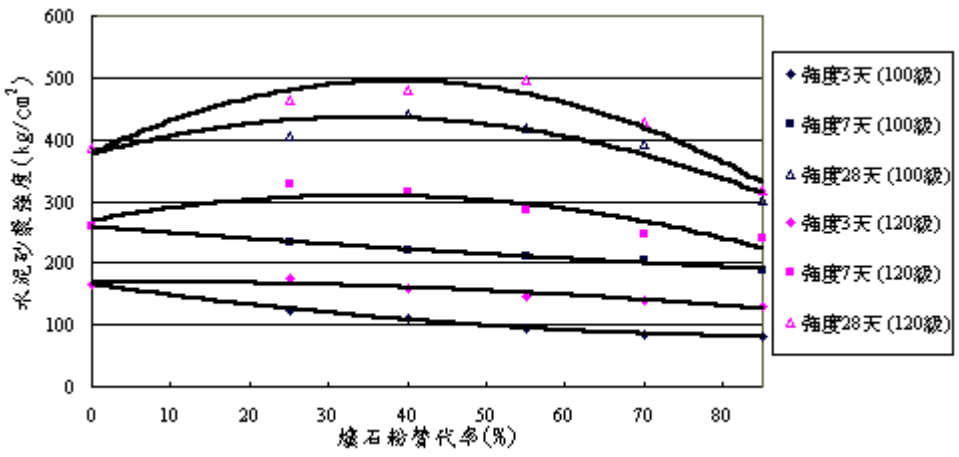


圖 3.4不同等級爐石粉之水泥砂漿強度成長趨勢

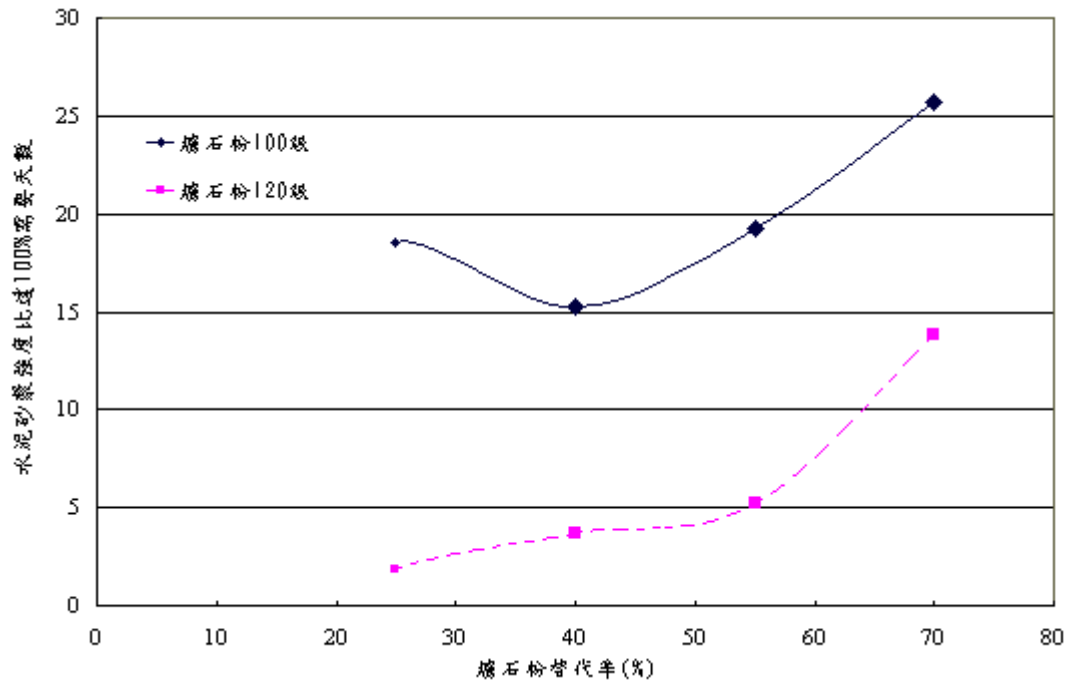


圖 3.5高爐石粉水泥砂漿達卜特蘭水泥砂漿相同強度所需之天數

2.彈性模數

在正常養護情況下，混凝土中以爐石粉適量替代水泥時，對混凝土之彈性模數無明顯影響。

3.體積穩定性[3.2]

高爐石粉對混凝土乾縮潛變影響尚無定論[3.5]，但大多數資料顯示，在適當養護情況下，高爐石粉對混凝土乾縮潛變之影響甚微；但養護不足時，則會明顯增加，尤其預力混凝土構件應特別注意，另應注意拌和水量對乾縮潛變之影響。

4.水合熱與混凝土溫度

爐石粉適量替代水泥，可降低初期水合熱及混凝土內部溫度上升之速率，替代率愈高或爐石粉活性愈差時，隨水泥用量減少，其降低之程度愈明顯。

5.水密性

高爐石混凝土硬固後有很好的水密性(低透水性)；在適量替代率下，替代率愈高，水密性愈好。爐石粉之卜作嵐反應，使混凝土中水

泥漿體內之毛細孔直徑減小，微觀結構緻密，因此非常顯著地增加混凝土之水密性。

6.耐久性

混凝土中以爐石粉適量替代部分水泥後，因漿體微觀結構較緻密，使混凝土之耐久性提高，例如抵抗硫酸鹽侵蝕，鹼骨材反應及鋼筋銹蝕之能力。研究顯示[3.3]，以爐石粉替代 50%之第 I 型水泥，混凝土抗硫酸鹽侵蝕之能力與使用第 V 型水泥相當，以相同比例替代第 II 型水泥，則效果更佳，這是因為爐石粉之使用使混凝土中 C_3A 及 C_3S 之含量降低，而且卜作嵐反應使 C-S-H 與 C-A-H 之膠體量增多，水密性提昇之結果。

在水泥含鹼當量($Na_2O+0.658K_2O$)不超過 1%的情況下，以爐石粉替代 40%之水泥可有效減少鹼骨材反應所引起的膨脹。當替代量由 40%增加至 60%時，幾乎沒有任何膨脹。爐石粉使混凝土抵抗鹼骨材反應能力提昇之原因包括：

(1)水密性之提昇；

(2)鹼－矽比例之改變；

(3)鹼性物質之消耗(氫氧化鈣含量之降低)。

爐石粉對混凝土水密性之提昇可有效抑制氯離子之滲入，減少鋼筋之銹蝕。使用爐石粉使混凝土 pH 值略有降低，但不會增加對鋼筋之銹蝕。此外，符合規範之爐石粉微量含硫對鋼筋尚無負面影響。

硬固混凝土長期與空氣中或水中之 CO_2 接觸，以致表層混凝土中之 $Ca(OH)_2$ 與 CO_2 化合產生 $CaCO_3$，而降低混凝土之 pH 值，謂之中性化或碳酸化現象。高爐石混凝土因其卜作嵐反應可消耗部份之 $Ca(OH)_2$，而會降低混凝土之 pH 值，但其微觀結構緻密，可減少 CO_2 之滲透。因此高爐石混凝土之中性化速率與一般混凝土很接近或稍快，依其爐石粉之替代率而定，當替代率及水膠比皆較高時，應加強施工品管。有關中性化之問題請參閱參考文獻[3.1、3.6、3.7]。

參考文獻

3.1 ACI Committee 233, "Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 1996.

3.2.陳振川、詹穎雯"填加飛灰與高爐石粉混凝土之體積穩定探討"，高爐石粉與飛灰資源在混凝土工程上應用研討會論文集，台北，民國七十五年十二月。

3.3 Hogan, F.J. and Meusel, J.W., "Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast-Furnace Slag," Cement, Concrete, and Aggregates, V.3, No.1, Summer 1981, pp.40~52.

3.4Hooton, R.D. and Emery, J.J., "Sulfate Resistance of a Canadian Slag", ACI Materials Journal, V.87, No.6, Nov.-Dec. 1990, pp.547~555.

3.5詹穎雯,「飛灰爐石混凝土之原理、性質與應用」,飛灰爐石於混凝土工程之合理運用研討會論文集,台灣營建研究院, 1999年 5月, pp.1~16.

3.6岸谷孝一,西澤紀昭編,「Ç¯ÇïÇ«ÇæÆãÇÄºc³yª«ÇU-@¤[©ÊÇ³ÇæÆãÇ¶¤©Ê¤Æ」,技報堂出版。

3.7龜田泰弘主編,「新しいコンクリートと工法のいろいろ」,建築現場技術選書,鹿島出版會出版。

3.8 「高爐石粉不同替代率水泥砂漿強度成長趨勢研究」，中聯爐石公司品管研發處研發報告。

第四章 高爐石混凝土之應用範圍及效益

4.1 一般事項

正確使用高爐石粉替代混凝土中部分水泥可有效改善新拌混凝土之工作度及硬固混凝土之強度與耐久性。特別是可以提高水密性、降低水合熱及提高抵抗硫酸鹽侵蝕、氯離子滲透及鹼骨材反應之能力。因此，如果養護條件及時間符合規定（參閱第七章），高爐石粉可應用於高流動性、高水密性、低水合熱、高耐久性之混凝土工程。

目前高爐石粉已在國外混凝土工程中廣泛應用。表 4.1 及表 4.2 分別為國內及日本爐石粉歷年之使用狀況[4.1,4.2]。表 4.3 及表 4.4 列舉日本使用高爐石粉及高爐水泥之混凝土工程實例。國內亦有南星計畫工程、中鋼三階及四階擴建工程、台塑六輕計畫工程、高雄東帝士大樓、屏東國立海洋生物博物館、台北金融中心大樓等重大工程使用高爐石粉，滿足工程設計要求[2.2]。

國內外重大工程使用高爐石粉之實例，均以混凝土之工作度、水密性、水合熱及耐久性等為主要考慮因素。以下介紹國內外一些應用實例，以說明使用水淬高爐石粉之效益。

表 4.1 日本各地區高爐水泥歷年使用狀況[4.2]

年份	1992 年	1993 年	1994 年
北海道	1,139（28.6）	1,235（28.8）	1,174（27.7）
東　北	177（ 2.6）	189（ 2.8）	209（ 3.1）
關　東	2,589（10.5）	2,420（10.6）	2,497（10.9）
北　陸	360（ 8.2）	352（ 8.1）	344（ 8.1）
東　海	1,032（11.8）	1,129（14.1）	1,354（16.2）
近　畿	3,056（25.1）	2,929（24.9）	3,188（26.8）
四　國	1,596（41.2）	1,627（43.4）	1,666（43.3）
中　國	2,220（36.4）	2,048（36.3）	2,106（37.1）
九　州	4,083（41.0）	4,021（41.6）	4,484（42.8）
沖　繩	0（－－）	0（－－）	0（－－）
合　計	16,252（19.9）	15,950（20.4）	17,022（21.4）

註：單位千噸，（）內為佔總膠結料百分率。

表 4.2 台灣地區卜特蘭水泥、飛灰與高爐石粉歷年使用狀況[4. 2]

材料類別	用量（千噸）					
	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
卜特蘭水泥	28,000	27,000	26,000	22,000	21,000	21,000
飛灰	1,400	1,500	1,500	1,600	1,600	2,050
高爐石粉	700	1,500	1,900	2,200	3,200	3,950
合計（總膠結料）	30,100	30,000	29,400	25,800	25,800	27,000
飛灰／總膠結料（%）	4.65	5.00	5.00	6.20	6.20	7.59
高爐石粉／總膠結料（%）	2.33	5.00	6.46	8.53	12.40	14.63

4.2 應用實例

實例一：東京灣橫斷道路預鑄環片[4. 3]

日本東京灣橫斷道路位於橫濱東京灣中央部位，總長 15km(海底隧道 10km 及橋梁 5km)。該工程之海底隧道所使用的混凝土環片係在海底下的軟弱地盤當中，承受 6kgf/cm2 水壓之作用，因此必須具優良的耐海水性及高水密性。此外，亦應避免因水合熱上升速率過快可能引發之溫度裂縫。基於因應上述問題而採用高爐石混凝土（高爐石粉替代率 50%）。其混凝土配比請參閱表 4.3。

實例證明，該工程使用高爐石粉獲得如下效益：

1.改善水密性

添加高爐石粉可提昇混凝土的水密性，係因使用高爐石粉可以減少混凝土的細孔量，特別是其中孔徑較大者之減少尤為顯著。此項成效咸認為可以抑制水在混凝土內部的移動，並防止水的滲透及鋼筋銹蝕。

2.抑制氯化物(鹽分)滲透

使用高爐石粉的混凝土，除了水密性可以獲得改善以外，氯化物的滲透情形也大幅度受到抑制，抑制了混凝土內部鋼筋的銹蝕效果。

3.抑制溫度龜裂

該工程 RC 環片厚達 65cm 屬巨積混凝土。使用高爐石粉有效抑制了構材內部溫度的上昇，而使最高溫度降低至 16℃，符合規範要求，免除了由於溫度應力所產生的龜裂。

表 4.3日本使用高爐石粉之混凝土工程實例[4.3]

工程名稱	施工年份	設計強度 (kgf/cm^2)	坍度 (cm)	含氣量 (%)	水膠比 (W/B) (%)	膠結材 (kg/m^3)	用水量 (kg/m^3)	砂石比 S/A (%)	爐石粉		卜特蘭水泥類型	化學添加劑類型	混凝土數量 (m^3)	備註
									細度 (cm^2/g)	替代率 (%)				
長谷水埧體工程	1988~1993	172 (91 天)	3	5.5	77.1	140	108	28	3300	65	II	AE 減水劑	539,000	
明石海峽大橋頂版工程	1992~1998	240 (28 天)	8	4.0	52.3	260	186	40	6000	83	I	高性能 AE 減水劑	25,300	
東京灣橫斷道路預鑄環片	1992	480 (28 天)	3±1.5	1.5±1.0	30.6	420	137	42	4750	50	I	高性能 AE 減水劑	500,000	蒸氣養生
東京灣川崎人工島地下連續壁	1992	360 (91 天)	SF* 65±5	2.0	35.7	420	150	48	4300	45	I	高性能 AE 減水劑	120,000	高流動化混凝土
首都高灣岸線沉埋箱涵	1993	350 (28 天)	SF 60~75	—	34.6	507	175	52.2	6000	70	I	高性能 AE 減水劑	860	高流動化混凝土
鋼管充填混凝土（奈良縣民間）	1993	420 (28 天)	SF 60~75	—	34.0	500	170	50	6000	50	I	高性能 AE 減水劑	520	高流動化混凝土
千葉製鐵所第 4 製鋼場設備工事	1993	210 (28 天)	15	4.5	52.0	337	175	44.7	4330	30	I	AE 減水劑	2,700	
千葉製鐵所第 3 熱延場設備工事	1993	210 210 (28 天)	15 15	4.5 4.5	56.0 57.0	296 291	166 166	44.4 44.6	4330 4330	30 40	I	AE 減水劑	8,400 77,300	

* SF: 坍流度（cm）。

表 4.4日本使用高爐水泥之混凝土工程實例 [4.3]

工程名稱	施工起訖年份	設計強度 (kgf/cm^2)	D_{max} (㎜)	坍度 (㎝)	含氣量 (%)	水膠比 (%)	S/A (%)	混凝土配比 (kg/m^3) 水量	水泥	細骨材	粗骨材	高爐*水泥類型	化學添加劑類型	混凝土數量 (m^3)	備 註
瀨戶大橋 4A 橋墩	1979~1988	240 (91 天) 240	40 40	11±1.5 14±1.5	4±1 4±1	57.1 60.0	39.2 40.7	160 168	280 280	722 742	1142 1100	B 種 B 種	AE 減水劑	251,000	底層部份 中高層部份
名古屋三井啤酒大樓	1985~1987	240 (28 天) 240	25 25	15 21	4 4	52 52	42.6 45.4	167 170	322 327	761 805	1035 979	B 種 B 種	AE 減水劑 AE 高性能減水劑	11,500	普通混凝土 流動化混凝土
西部瓦斯公司天然氣貯槽連續壁	1991~1993	350 (91 天)	20	20~23	5	46	43.3	185	402	702	967	B 種	AE 減水劑	6,350	
山陽新幹線隧道工程(新下關~博多)	1970~1975	160 (28 天) 200	40 40	15±2 8±2	4±1 4±1	60 58	43 39	167 145	280 250	800 756	1110 1230	B 種 B 種	AE 減水劑		隧道頂拱 隧道仰拱
關門橋下部結構	1968~1973	240 (91 天)	50	3~6	3~6	57	36	148	260	676	1272	B 種	AE 減水劑	47,000	
萬國博覽會鋼鐵館	1968~1970	180 (28 天) 225	25 25	18 18	3~5 3~5	59.4 56.6	43.3 41.3	178 171	300 302	782 748	1038 1079	A 種 A 種	AE 減水劑	7,700	
大田市立大田小學校	1979~1980	210 (28 天) 210	20 20	15 21	4 4	58 58	45.6 48.1	189 217	326 375	782 768	975 866	B 種 B 種	AE 減水劑	5,900	
大板市住吉區住吉國宅	1966~1967	225 (28 天) 225	25 20	18 21	－ －	60 54	42 50	174 194	296 359	770 835	1066 406	A 種 A 種		10,900 4,600	普通混凝土 輕質混凝土
大板市金岡東高層住宅	1971~1972	210 (28 天) 260	25 15	15 23	－ 6	60.0 46.2	40.3 46.4	184 211	307 457	751 691	1121 396	A 種 A 種	AE 減水劑	4,300 5,000	普通混凝土 輕質混凝土

* 高爐水泥 A型之爐石粉含量 5~30%; 高爐水泥 B型之爐石粉含量 30~60%

實例二：日本瀨戶大橋[4.3]

日本瀨戶大橋由 6 座鐵路/公路兩用雙層橋將 5 個島連接起來，主體結構混凝土用量約 250 萬 m^3，大部分為易受海水侵蝕之巨積混凝土，因此，需要混凝土具有低水合熱及高水密性。為解決上述問題，該工程使用 B 種低熱高爐水泥(定義見第二章表 2.6)，並使用海水做冷卻，使澆置後之混凝土內外層溫度差異不超過規範限定溫度，以減少溫度裂縫，提高水密性、耐久性，可保護鋼筋。其混凝土配比請參閱表 4.4。

實例三：日本明石海峽大橋[4. 3]

日本明石海峽大橋(總長 3,920m，中央跨之長度 1,990m)是目前世界上最長之吊橋。該橋下部結構使用 142 萬 m^3 混凝土。由於墩柱體積龐大，且其錨座鋼筋密集，施工不便，除了須控制水泥之水合熱外，混凝土也需有良好之流動性。該工程使用較高之高爐石粉替代率，解決了水合熱問題，也提高了混凝土之流動性，便於施工。此外，混凝土工作度之提昇配合澆置自動化，使澆置時間縮短而縮短整個工程之工期。其混凝土配比請參閱表 4.3。

實例四：日本西部瓦斯地下液化天然氣貯槽[4. 3]

日本西部瓦斯公司之地下液化天然氣貯槽採用連續壁，使具止水及擋土功能，混凝土由底版、側壁依序向上澆置。側壁為連續澆置之鋼筋混凝土，是工程之重要部分，需考慮溫度裂縫及水密性。該工程採用 B 種高爐水泥(定義見第二章表 2.7)，降低水合熱，且提昇水密性。其混凝土配比請參閱表 4.4。

實例五：日本長谷水庫大壩工程

長谷水庫位於兵庫縣神崎郡大河內町市川系，提供 1,280MW 電力。水壩為混凝土重力壩，壩高 102m，底部寬度 70m，壩體混凝土總體積約 54 萬 m^3[4. 4]，因此屬於巨積混凝土工程。為控制溫度裂縫，本工程規定混凝土澆置時之初始溫度不得超過 22℃，及每昇層高度為 75cm(每層澆置最大厚度 25cm)，其中心部分混凝土使用第 II 型水泥，並使用高爐石粉替代水泥（替代率 65%），有效降低混凝土內部溫度之上升。其混凝土配比請參閱表 4.3。

實例六：國立海洋生物博物館[4. 5]

海洋生物博物館工程位居於南台灣屏東的車城鄉，依其地點，屬於潮濕海域環境，此外工程設計年限為 75 年，因此混凝土依美國 ACI 318-95 規範高耐久性等級設計。為確保耐久性，該工程除規定混凝土之 56 天抗壓強度 f_c'＝350kgf/cm^2 外，對其最大水膠比也要求小於 0.4，並允許使用礦粉摻料。本工程使用之混凝土依用途之不同分五種配比。詳表 4.5。

表 4.5國立海洋生物博物館使用高爐石混凝土之配比 (kg/m^3) [4. 5]

材料 配比 (kgf/cm^2)	水泥	水	飛灰	高爐石粉	細骨材	粗骨材		強塑劑(F)	腐蝕抑制劑	水膠比(W/B)
						19mm	9.5mm			
A級(280)	220 (I)	123	115	70	884	481	481	7.0	0	0.32
B級(280)	260 (II)	106	118	90	863	475	475	9.0	14.3	0.28
C級(350)	290 (II)	143	118	90	815	370	560	9.5	14.3	0.34
E級(280)	260 (II)	113	118	90	830	475	475	9.0	0	0.26

註：1. 設計坍度 22 2cm；含氣量 2％以下。
2. D 級配比係 140 kgf/cm^2 之打底混凝土，因未添加爐石粉，故不予表列。

其與海水接觸部分混凝土之設計強度為 350kgf/cm^2，其中飛灰爐石粉佔總膠結料之 46%，主要原因如下：

(1)改善工作度

飛灰爐石粉替代部分水泥可減少坍損，有助於改善混凝土之工作度。

(2)降低水合熱

本工程因耐久性考量，故混凝土之水膠比較低，且膠結料用量在 400 kg/m^3 以上。飛灰爐石粉替代部分水泥可降低由水合熱過高產生溫度裂縫之機率。

(3)增加水密性及耐久性

由於本工程臨海，以致受氯離子侵蝕威脅較為嚴重。為達成 75 年之設計使用年限，混凝土必須具較高之水密性，以抵抗氯離子侵入而腐蝕鋼筋。礦粉摻料，尤其細度較高之高爐石粉，可有效提昇混凝土之水密性與耐久性。

實例七、高屏溪攔河堰[4.6]

高屏溪攔河堰工程位於高雄縣大樹鄉，於民國 85 年 4 月至 88 年 5 月施工，主體結構採用第 II 型卜特蘭水泥施工，但兩岸固床工混凝土塊(3×3×3m)共有 15 萬 m^3 混凝土均採用高爐水泥（爐石粉含量 40%）施工，以取代第 II 型卜特蘭水泥，降低水合熱，減少溫度裂縫，有很好效果，並節省水泥費用 1,700 萬元以上。混凝土配比[4.6]如表 4.6 所示。

實例八、南星計畫[4.7]

南星計畫工程位於高雄市大林浦為填海造陸工程，中程計畫第 I 區、第 II 區及相關配合工程於民國 84 年至 91 年施工，混凝土主體結構為消坡塊、胸牆、堤面等三部份，因為混凝土須具備抗海水及鹽份侵蝕等耐久性作用，全部採用高爐水泥（爐石粉含量 40%）取代卜特蘭 II 型水泥施工，效果非常好，混凝土共約 47 萬 m^3，共採用水泥約 14 萬噸，節省水泥費用約 7500 萬元，混凝土配比如如表 4.6 所示。

國內其他使用高爐石混凝土之工程實例，亦如表 4.6 所示。

表 4.6國內使用高爐石混凝土之工程實例[4. 2]

工程名稱	施工年份	設計強度* (kgf/cm^2)	坍度 (cm)	含氣量 (%)	水膠比 (W/B)	膠結材 (kg/m^3)	用水量 (kg/m^3)	砂石比 S/A (%)	爐 石 粉		卜特蘭水泥類型	化學添加劑類型	混凝土數量 (m^3)	備 註
									細度 (cm^2/g)	替代率 (%)				
高屏溪攔河堰	1996~1999	140 (28 天)	7.5	—	0.73	222	162	37	—	40	II	G	150,000	高爐水泥 IS 型
南星計畫 消波塊	1995~2000	210 (28 天)	10.0	—	0.65	311	202	45	—	40	II	—	470,000	高爐水泥 IS 型
南星計畫 胸牆堤面		175			0.69	285	196	44						
東帝士 85 層大樓	1993~1997	560 (56 天)	26.0	—	0.34	501	157	47	—	5.2	I	G	10,000	高性能混凝土
車輛檢測中心彰濱工作站	1999~2000	210 (28 天)	25.0	1.1	0.36	397	143	48	—	25	I	G	23,000	

實例九、中鋼公司三階、四階擴建工程

中鋼公司於民國 73 年首先應用高爐石粉於混凝土工程，在民國 73~80 年間，共有 194,804 m^3 混凝土使用爐石粉，其相關工程項目及數量詳表 4-7 所示。至四階擴建工程民國 82~88 年共有 964,125 m^3 的混凝土使用高爐水泥（爐石粉含量 40%）共 322,223 公噸，其各種設計強度之相關配比詳如表 4-8 所示[4.2]（中華顧問工程司設計）。

實例十、台塑六輕麥寮計畫工程

該工程於民國 83 年開始施工，至 89 年陸續完工中，混凝土內添加高爐石粉，高爐石粉取代水泥最大替代率 40%，其各種設計強度配比詳如表 4.9 所示[4.2]。

表 4.7 中鋼公司使用爐石水泥混凝土之工程項目及數量（73~80年）[4.3]

項次	工　程　名　稱	澆置量(m^3)	備 註*
1	油槽區基礎工程	98	第一批
2	油槽區基礎工程	403	第一批
3	包紮鋼帶工場基礎工程	211	第一批
4	冷打線材工場地坪工程	1,143	第二批
5	原料碼頭擴建西南岸錨錠版	424	第二批
6	綜合成品倉庫發貨站新建工程	56	第二批
7	綜合成品倉庫地坪工程	4,873	第二批
8	第二冷軋工場排水箱涵及電纜道工程	2,461	第三批
9	第二條線工場設備土木工程	18,013	第三批
10	煤化學實驗工場及辦公室新建工程	712	第三批
11	冷軋軋輥工場設備土木工程	6,915	第三批
12	NO.19 成品倉庫廠房基礎工程	2,855	第三批
13	產品應用實驗大樓新建工程	2,741	第三批
14	酸洗冷軋工場設備土木工程	30,310	第三批
15	連續退火工場設備土木工程	36,518	第三批
16	電氣鍍鋅工場設備土木工程	23,867	第三批
17	第三大鋼胚連鑄設備土木工程	5,885	第三批
18	T6 第三綜合實驗大樓新建工程	2,971	第三批
19	現有廠區增設衛生下水道工程	544	第三批
20	第二冷軋地下管線及道路工程	4,260	第三批
21	其他雜項工程	13,081	第三批
22	第二冷軋水處理場土木工程	6,594	第三批
23	動力工場土木工程	8,331	第三批
24	第三原水儲水池土木工程	11,694	第三批
25	自動儲運系統儲運輸送檢驗區土木工程	8,518	第三批
26	60,000M^3煤氣儲槽基礎反循環樁工程	1,334	第三批

註：＊第一批於 73年使用；第二批於 75年使用；第三批自 78年起至 80年 7月 16日

表 4.8 中鋼四階擴建混凝土基準配比[4.2]

混凝土種類	設計強度 (kgf/cm^2)	最大骨材粒徑 (mm)	坍度 (mm)	混凝土配比(kg/m^3)				
				高爐水泥*	用水量	粗骨材	細骨材	總重量
140	140	25	125	230	198	990	905	2323
210A	210	19	150	322	208	970	820	2320
210B	210	19	175	335	216	925	845	2321
210C	210	25	125	300	195	1020	825	2340
210D	210	25	150	311	202	1005	815	2333
280A	280	19	150	383	205	980	765	2333
280B	280	19	175	398	213	935	785	2331
280C	280	25	150	370	200	1015	755	2340
280D	280	25	175	385	208	965	780	2338

＊高爐水泥之高爐石粉含量 40%

表 4.9 台塑六輕麥寮預拌混凝土基準配比[4.2]

設計強度 (kgf/cm^2)	坍度 (mm)	水膠比	混凝土配比(kg/m^3)				
			用水量	水泥	高爐石粉	粗骨材	細骨材
140	100	0.85	194	135	90	972	939
175	100	0.65	194	180	120	996	854
210	130	0.62	201	195	130	985	826
245	150	0.59	205	210	140	977	802
280	130	0.47	201	255	170	990	738
350	150	0.43	205	285	190	975	702

＊本資料由台北縣高大預拌廠提供。

參考文獻

4.1 苗伯霖, 吳秉駿, 〝國內外飛灰爐石使用現況與趨勢〞, 飛灰爐石於混凝土工程之合理運用研討會論文集,台灣營建研究院, 2000 年 6 月, p.17~49。

4.2 王和源等, 〝公共工程混凝土使用爐石水泥之可行性評估〞, 期末報告 NKIT-C-8805, 民國 88 年 11 月。

4.3 中聯爐石處理資源化股份有限公司, 〝日本卜特蘭高爐水泥應用實例〞, 共 62 頁。

4.4 林平全, 〝赴日本考察重要水利工程出國報告〞, 經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書, 民國 81 年 9 月。

4.5 黃兆龍等, 〝飛灰混凝土耐久性設計—以海洋生物博物館為例〞, 公共工程使用飛灰混凝土研討會論文集, 行政院公共工程委員會, 2000 年 5 月, p.45~100。

4.6 水利局南部水資源開發工程處, 混凝土配比試拌報告, 民國 84 年 11 月, p46。

4.7 中華顧問工程司, 南星計畫中程計畫施工說明書, 民國 84 年 11 月。

第五章 配比設計

5.1 一般原則

高爐石混凝土配比設計之目的、方法及步驟與一般混凝土相似，但高爐石混凝土配比設計仍具有一些特性，應參照本章之規定辦理。

5.2 高爐石混凝土配比設計原則

配比設計係依工程圖說之規定及試拌結果，決定適當之高爐石粉替代率及各項材料之適當用量，使高爐石混凝土能充分達成所需之強度、耐久性及工作性等各項性能要求。依使用方式之不同，其配比設計原則如下：

1.添加高爐石粉之混凝土配比設計

高爐石混凝土之配比設計可先按一般混凝土之配比設計步驟(參照土木 402 之第三章混凝土配比設計)，求得配比計算值，再按規範規定之高爐石粉替代率修正前述配比計算值進行試拌，並做必要之調整。但若有經驗資料可供參考時，可直接求出水膠比，計算高爐石混凝土之配比，並進行試拌確認其適用性。

2.使用高爐水泥之混凝土配比設計

可按 1.之方法辦理，或依據高爐水泥砂漿 28 天抗壓強度及經驗公式，求出水膠比，並參考高爐水泥中高爐石粉之含量，修正拌和水量及含氣量，求得配比計算值，並進行試拌而做必要之調整。

5.3 注意事項

1. 水膠比

水膠比係指水對水泥、高爐石粉及其他卜作嵐材料總量之質量比，水膠比須由混凝土之配比目標強度（f'_{cr}）及耐久性決定之，取用其最小者。

(1)由抗壓強度決定水膠比

抗壓強度與水膠比之關係，原則上由試拌驗證決定之，若無特別要求齡期以 28 天為準。

(2)按照耐久性決定水膠比

a. 一般性構造物(非輸氣混凝土)

可參照土木 402 第三章，詳見表 5.1 及表 5.2。

表 5.1特殊暴露情況下混凝土 (I型水泥)之水膠比及強度要求

暴 露 情 況	常重混凝土最大水膠比 w/(c＋p)	常重及輕質骨材混凝土最小規定抗壓強度 f_c' (kgf/cm^2)
(1)暴露於清水中需具水密性	0.50	280
(2)暴露於凍融潮濕或解冰鹽	0.45	315
(3)鋼筋混凝土暴露於解冰鹽、鹽分、海水、鹽霧等氯離子環境必須考慮鋼筋防蝕	0.40	350

表 5.2混凝土在不同硫酸根濃度之特別規定

暴露程度			適用水泥型別	常重混凝土最大水膠比*	常重及輕質混凝土之最小抗壓強度 $f_c'(kgf/cm^2)$
等級	土壤中之硫酸根(SO_4^{-2}，%)	水中之硫酸根(SO_4^{-2}，ppm)			
輕度	0.00－0.10	0－150	－	－	－
中等#	0.10－0.20	150－1,500	II I P(MS)※ I S(MS)※	0.50	280
嚴重	0.20－2.00	1,500－10,000	V	0.45	315
極嚴重	>2.00	>10,000	V＋卜作嵐◎	0.45	315

*為使混凝土具有高水密性或防止鋼筋腐蝕或減少凍融之損害，可參照表 5.1中暴露情況 (3)處理。

#海水亦歸為此類。

◎所用之卜作嵐材料應經試驗證明摻於第 V 型水泥混凝土中可增進抗硫酸鹽性能。

※ 水泥型別中之 I P(MS)係指卜特蘭卜作嵐水泥 (中度抗硫酸鹽)，I S(MS)係指卜特蘭高爐水泥 (中度抗硫酸鹽)。

b. 輸氣高爐石混凝土之水膠比

高爐石混凝土有特殊耐久性之需求時，則日本土木學會在「使用高爐石混凝土施工指針」[5.1]中亦有對耐久性要求之最大水膠比限制，可供參考如下：

(a) 需特殊耐凍融要求之非海洋構造物，其水膠比宜依照表 5.3 之規定。

表 5.3輸氣高爐石混凝土之最大水膠比 (非海洋構造物)

天候條件 / 構造物暴露狀態	天候變化劇烈 (經常發生凍融作用)		天候變化不劇烈 (氣溫很少在冰點以下)	
	薄斷面(2)	一般斷面	薄斷面(2)	一般斷面
經常處於水飽和情況(1)	0.55	0.60	0.55	0.65
其他一般暴露情況	0.60	0.65	0.60	0.65

註：（1）渠道、水槽、橋台、橋墩、擋土牆、隧道襯砌等非海洋構造物，接近水面被水飽和部分及這些構造物之外，桁、樓版等，雖離開水面但會遇融雪、流冰、水沫等水飽和部分。
（2）斷面厚度在 20cm 以下。

(b) 使用於海洋構造物的輸氣高爐石混凝土，若由耐久性決定其水膠比之最大值，可參考表 5.4。

表 5.4輸氣高爐石混凝土之最大水膠比 (海洋構造物)

施工條件 / 環境區分	現場澆置	工廠預鑄品
1.海面大氣中	0.45	0.50
2.飛沫帶	0.45	0.45
3.海水中	0.50	0.50

註：土木 402-88 及 ACI-318 均規定海洋構造物之最大水膠比為 0.40，並規定抗壓強度至少為 350kg/㎠

2. 拌和水量

(1)高爐石混凝土配比之拌和用水量之決定原則與一般混凝土相同，須依據工程性質及施工條件由混凝土坍度決定之，在適合施工範圍內，拌和水量愈少愈好，故其水量比普通混凝土略為減少。

(2)輸氣高爐石混凝土之拌和水量可參考表 5.5。

表 5.5 輸氣高爐石混凝土之單位容積拌和水量之概略值

粗骨材之最大尺寸（㎜）	單位粗骨材容積（%）	輸氣高爐石混凝土				
		含氣量（%）	使用輸氣劑		使用輸氣減水劑	
			細骨材率 S/A（%）	拌和水量 W（kg）	細骨材率 S/A（%）	拌和用水 W（kg）
12.5	59	7.0	46	175	47	165
19.0	63	6.0	43	170	44	160
25.0	68	5.0	41	165	42	155
37.5	73	4.5	38	160	39	150
註：a.本表所示數值之混凝土背景資料：骨材係天然砂（細度模數 F.M=2.80左右）及碎石，高爐石粉為細度 4000, 替代率 50%, 水膠比 0.55左右，坍度 8㎝。 b.使用材料或混凝土品質與 a.之條件不同時，須將本表之數值用表 5.4 加以修正。						

(3)由於依照單位粗骨材容積的情形，砂之細度模數每增（減）0.1，單位粗骨材容積須減（增）1%。如表 5.6 所示在同一坍度下，依照高爐石粉之種類及替代率，高爐石混凝土與不使用高爐石粉之一般混凝土比較，可減少 2~5%之拌和水量。

(4)混凝土拌和完成之溫度每上昇或下降 10℃，則得到同一坍度所需之拌和水量，各需增加或減少 2~3%。

(5)適當地使用輸氣劑、減水劑、輸氣 減水劑、高性能輸氣 減水劑等，可減少相當量的拌和用水。減水率受含氣量、高爐石粉之種類及替代率、其他混合材料之種類及使用量及混凝土配比等而異。

表 5.6配比修正參考值

區　分			細骨材率 S/A（%）	拌和水 W（kg）
高爐石粉之替代率每增(減)10%	種類	高爐石粉 4000	不修正	減（增）1.5kg
		高爐石粉 6000	不修正	減（增）1.5kg
		高爐石粉 8000	減（增）0.5	減（增）1.0 kg
砂之	細度模數每增（減）0.1		增（減）0.5	不修正
	坍　度每增（減）1 ㎝		不修正	增（減）1.2%
	含 氣 量每增（減）1%		減（增）0.5~1.0	減（增）3%
	水 膠 比每增（減）0.05		增（減）1.0	不修正
	s/a　每增（減）1.0%		---	增（減）1.5 kg
	使用礫（卵）石的情形		減 3~5	減 9~15 kg
	使用碎石砂的情形		增 2~3	增 6~9 kg

3. 膠結料用量

(1)膠結料用量係由拌和水量與水膠比決定之。再由高爐石粉之替代率來決定水泥量及高爐石粉用量。

(2)膠結料用量尚須符合下列條件。

a.若施工規範或施工說明書對含高爐石粉之高性能混凝土、輸氣混凝土、海洋混凝土、水中混凝土、巨積混凝土等之膠結料用量範圍有上、下限之規定時，應按其規定。

b.施工時若氣溫低於 18℃，難免影響硬化時間，故必須限制其水泥之最低使用量。

4. 骨材用量之決定

高爐石混凝土配比之粗細骨材用量之決定方法與一般混凝土相同，唯其細骨材率尚需參照表 5.6 加以修正。

5. 摻料用量

高爐石粉以外之混凝土摻料應符合工程圖說及本手冊第二章之規定。摻料之用量須能使混凝土得到所需之工作性、減水效果及含氣量，並應試拌決定之，並不得損及硬固混凝土之性質。

輸氣高爐石混凝土所需之輸氣劑量比一般混凝土略高，其程度與高爐石粉替代率及比表面積有關，替代率愈大與比表面積愈大，所需之輸氣劑量也愈大。

5.4 配比之表示法

1.目標配比之表示法，一般如表 5.7 所示。

2.細骨材係通過 4.75 ㎜篩者，粗骨材係停留在 4.75 ㎜篩者，都是面乾內飽和狀態。

3.目標配比要改為工地配比時，需考慮粗細骨材之含水狀態及化學摻料之稀釋水量等。

表 5.7配比之表示法

粗骨材之最大尺寸(㎜)	坍度(cm)	含氣量(%)	水膠比(W/B)(%)	替代率(%)	細骨材率(S/A)(%)	單位體積用量（kg／m^3）							
						水(W)	膠結料(B)			細骨材(S)	粗骨材(G)	摻料	
							水泥(C)	高爐石粉(BF)	其他(P)			惰性礦物摻料	化學摻料

註：1.化學摻料之單位用量以 ml/m^3 或 g/m^3 表示，表內所示者為未稀釋、未溶解者。
2.A=S＋G，A 為總骨材用量。
3.水膠比中之水量包括拌合水量與液態摻料中之水量。
4.惰性礦物摻料係指不具膠結性及卜作嵐反應之礦物摻料。

5.5 試拌

由以上各步驟所得之配比應以施工實際使用之材料進行試拌，驗證混凝土之工作度、強度及摻用高爐石粉所期望之重要性質，須完全符合要求才能採用，否則應修正配比後再試拌，至完全符合要求。

5.6 配比設計方法

高爐石混凝土之配比設計步驟，基本上與普通混凝土相似。本手冊考慮一般性公共工程用途之高爐石混凝土，在配比設計前通常先作普通混凝土之配比設計，以作為比較基準。普通混凝土之配比設計可參照 ACI 211.1(普通混凝土配比設計法)[5.2]進行。配比設計前應先確定其需求條件。

1.一般需求條件：

(1)混凝土之目標強度（f'_{cr}）。

(2)混凝土要求坍度。

(3)粗粒料之標稱最大粒徑。

(4)耐久性限制（水膠比限制或強度限制）。

(5)其他：如含氣量等。

2.配比基本資料：

(1)粗細粒料之篩分析。

(2)粗粒料之單位重量。

(3)粗細粒料之面乾內飽和比重及吸水率。

(4)水泥及高爐石粉之比重。

(5)其他材料性質。

(6)經驗用水量。

(7)混凝土強度與水膠比之經驗關係。

3.基準混凝土配比設計步驟

進行高爐石混凝土配比設計前，需先以擬用之水泥做配比設計，所得之配比稱為基準混凝土配比，其設計步驟可依 ACI 211.1 建議，步驟如下：

(1)依拌和、輸送、澆置及搗實之需要，選擇混凝土要求坍度。

(2)按構件尺度及配筋狀況選擇粗粒料之標稱最大粒徑。

(3)依坍度、粗粒料標稱最大粒徑及輸氣與否(由構造物暴露狀況決定)，估計拌和水量（Wo）與含氣量（Va）。

(4)由 f'_{cr} 及經驗資料，估計水膠比。

(5)計算水泥用量（Co）。

(6)估計粗粒料用量（Wcao）。

(7)估計細粒料用量（Wfao）。

(8)以粒料含水量調整各材料用量及拌和水量。

(9)計算每盤材料用量。

(10)試拌。

(11)繪製強度與水灰比（W/C）之關係曲線。

(12)決定設計水灰比及材料配比。

4.高爐石混凝土配比設計步驟

高爐石混凝土配比可由修正基準混凝土配比而得，其步驟如下：

(1)依配比目標強度及耐久性要求選定水膠比（W/B）。

(2)依工程特性要求、混凝土性質、施工條件及工程使用環境選擇高爐石粉替代部份水泥比率(以下簡稱替代率)，則膠結材料用量可以式 1 及式 2 求得。

因高爐石粉比重約為 2.90 與水泥比重 3.15 差異不大，故最常用的配比設計方法係以高爐石粉替代等重量水泥計算之。

$$S = \alpha C_o \quad \text{……(1)}$$

$$C = (1-\alpha) C_o \quad \text{……(2)}$$

式中：

S：每 m^3 高爐石混凝土中高爐石粉用量（kg/m^3）

C：每 m^3 高爐石混凝土中水泥用量（kg/m^3）

C_o：每 m^3 普通（基準）混凝土中水泥用量（kg/m^3）

α：高爐石粉替代率（重量比）

(3)拌和水量（W）可以式 3 算得之高爐石混凝土拌和水量得視高爐石粉替代水泥比率（約每增加 10%得減水 1.5 kg/m^3）或測得之坍度等性質而稍作調整。：

$$W = W_o - 15\alpha \quad \text{……(3)}$$

式中：

W：每 m^3 高爐石混凝土中水用量（kg/m^3）

(4)粒料總體積可以式 4 計算：

$$V_{ag} = 1 - \left[\frac{C}{1000G_c} + \frac{S}{1000G_s} + \frac{W}{1000G_w} + V_a \right] \quad \text{……..(4)}$$

式中：

V_{ag}＝粒料體積（m^3）

G_c＝水泥比重

G_s＝高爐石粉比重

G_w＝水比重

V_a＝空氣含量（m^3）＊

＊註：非輸氣混凝土空氣含量（V_a）得視高爐石粉替代率稍作調整（高爐石粉每增加 10%約減少原空氣含量 10%）。

(5)選定細粒料率 Sa

細粒料率即細粒料佔全部粒料的體積比率，除高爐石粉細度大於 6000cm^2/g 以上，通常與基準混凝土配比相同則：

$$W_{fa} = S_a \quad V_{ag} \quad G_{fa} \quad 1000 \text{……..…(5)}$$

$$W_{ca} = (1-S_a) \quad V_{ag} \quad G_{ca} \quad 1000 \quad \text{……(6)}$$

式中：

W_{fa}＝細粒料用量（kg/m^3）

W_{ca}＝粗粒料用量（kg/m^3）

G_{fa}＝細粒料比重

G_{ca}＝粗粒料比重

(6)其他配比設計步驟與基準混凝土者相同。

(7)試拌並量測混凝土坍度、強度、空氣含量及單位體積重等性質，確認是否滿足工程需求，並視需要再做適當修正。

5.7 配合設計演算例

範例一、採用高爐石粉替代部分水泥配比設計例

假設完全採用卜特蘭水泥之普通混凝土基準配比為：

水泥 C_o＝303kg/m^3，水泥比重＝3.15

拌和水 W_o＝206kg/m^3

混凝土空氣含量＝2.0%

粗粒料 W_{cao}＝894kg/m^3

粗粒料面乾內飽和比重＝2.65

細粒料 W_{fao}＝905kg/m^3

細粒料面乾內飽和比重＝2.62

欲以比重 2.90 之高爐石粉替代水泥，α＝40%，請計算高爐石混凝土配比？

解：高爐石粉用量 S＝0.4　303＝121 kg/m^3

水泥用量 C＝（1－0.4）　303＝182 kg/m^3

拌和水量 W＝206－15　0.40＝200 kg/m^3

空氣含量 V_a＝（2.0%－2.0%　40%）　1＝0.012 m^3

粒料總體積 V_{ag}＝1－〔182／3150＋121／2900＋200／1000＋0.012〕

＝0.6885 m^3

採用與基準混凝土相同之細粒料率 S_a：

S_a＝(905/2.62)／(905/2.62＋894/2.65)＝50.6%

W_{fa}＝0.506　0.6885　2.62　1000＝913 kg/m^3

W_{ca}＝（1－0.506）　0.6885　2.65　1000＝901 kg/m^3

高爐石混凝土配比設計所得每 m^3 混凝土使用之拌和材料重量如下：

粗骨材之最大尺寸(㎜)	坍度(cm)	含氣量(%)	水膠比(W/B)(%)	替代率(%)	細骨材率(S/A)(%)	單位體積用量（kg／m^3）							
						用水量(W)	膠結料(B)			細骨材(S)	粗骨材(G)	摻料	
							水泥(C)	高爐石粉(BF)	其他(P)			惰性礦物摻料	化學摻料
		2.0	0.69	40	50.6	200	182	121		901	913		

範例二、採用高爐水泥之配比設計例

假設完全採用卜特蘭水泥之基準混凝土配比如下：

水泥 Co＝303kg/m3，水泥比重 Gc＝3.15

拌和水 Wo＝182kg/m3（已考慮摻用高性能減水劑，減水率=12%）

混凝土空氣含量 Va＝2.0%

粗粒料 Wca＝926kg/m3

粗粒料面乾內飽和比重 Gca＝2.65

細粒料 Wfa＝936kg/m3

細粒料面乾內飽和比重 Gfa＝2.62

欲以比重 3.03 之高爐水泥（高爐石粉替代率 50%）替代水泥，請計算高爐石混凝土配比？

解：高爐石粉活性指數 100 級，替代率小於 65%之高爐水泥其混凝土 28 天強度約略等於基準混凝土強度，故高爐水泥量　水泥量（Co）

高爐水泥量 Cs＝303 kg/m3

拌和水量 W＝182－15　0.5＝174.5 kg/m3

Type G SP = 3.6 kg/m3 (比重 1.20)

空氣含量 Va＝2.0%（100%－50%）　1＝0.01 m3

粒料總體積 Vag＝1－〔303/3030＋174.5/1000＋0.01+3.6/1200〕＝0.713 m3

選定細粒料率 Sa 與基準混凝土相同為 50.6%。

Wfa＝0.506　0.713　2.62　1000＝945 kg/m3

Wca＝（1－0.506）　0.713　2.65　1000＝933 kg/m3

高爐石混凝土配比設計每 m^3 混凝土拌和材料之配比重量(kg)如下：

粗骨材之最大尺寸(㎜)	坍度(cm)	含氣量(%)	水膠比(W/B)(%)	替代率(%)	細骨材率(S/A)(%)	單位體積之材料用量（kg/m^3）						
						用水量(W)	膠結料(B)		細骨材(S)	粗骨材(G)	摻料	
							高爐水泥(C_s)	其他(P)			惰性礦物摻料	化學摻料
		2.0	0.58	50	50.6	174.5	303		945	933		3.6

參考文獻

5.1「使用高爐石混凝土施工指針」, 日本土木學會，平成八年。

5.2 ACI 211.1," Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete(ACI 211.1-81)(Reviced 1985), Detroit, 34pp. 1985,

5.3 公共工程委員會,「公共工程飛灰混凝土使用手冊」,1999, 台北市。

5.4 林平全, 「混凝土施工」,徐氏基金會, 1990, 台北市。

第六章 工程設計上應注意事項

工程設計上採用高爐石混凝土時，在工程圖說上須適當標示其所需特性及施工上應注意及配合事項。

6.1 高爐石混凝土之特性

高爐石混凝土因受卜作嵐反應性質及顆粒細度等之影響，一般具有下列特性：

(1)單位體積質量比普通混凝土稍低。

(2)顏色較淡綠。

(3)凝結時間延長。

(4)早期強度發展較慢，後期強度較高。

(5)水合熱較低。

(6)透水性低。

(7)抗化學侵蝕佳(尤其是抗硫酸鹽侵蝕及抗鹼骨材反應)。

上述各項特性究竟會對混凝土造成正面或負面的影響，將視混凝土的功能需求而定。以早期強度發展較慢的特性為例，該項特性對於巨積混凝土能提供抑制溫度龜裂的正面效益；但相對於需早期強度的結構混凝土則反而是負面的影響。因此高爐石混凝土之適切應用實有賴於工程師對各項特性之充分瞭解。為避免發生誤用或濫用之情事，工程師在工程規劃之初，即應對構造物所處之環境，考慮其混凝土所需之耐久性能，再於設計階段時針對其混凝土之性能需求，詳細評估高爐石混凝土的適用性，並善加利用高爐石混凝土正面的效能，而對於負面影響的部分則應以未雨綢繆的角度，提出適當因應對策。

6.2 高爐石粉規格及添加量之選定

高爐石混凝土所使用之卜特蘭高爐水泥或高爐爐石粉，須符合下列相

關中國國家標準規定[1.4]之一：

1.採用卜特蘭高爐水泥替代卜特蘭水泥時，應符合 CNS 3654 [卜特蘭高爐水泥]。

2.採用爐石粉替代部份水泥添加於混凝土時，應符合 CNS 12549 [混凝土及水泥墁料用水淬高爐爐碴粉]。

CNS 3654 或 CNS 12549 對卜特蘭高爐水泥或高爐爐石粉之添加物、化學成份及物理性質等已有基本規定，並要求訂購時應指定所需卜特蘭高爐水泥之種類或指定所需水淬爐碴粉之等級及任選之物理或化學性質要求。

上述 CNS 要求訂購時指定之項目，設計者應在設計階段即予選定，一般需確定之項目包括：

1.爐石粉細度及活性指數

CNS 12549 依活性指數將爐石粉分為 80 級、100 級和 120 級等三等級，細度則僅規定比表面積之最小值為 3300 cm^2/g[1.4]。

以同批爐石而言，研磨的爐石粉細度愈低，活性指數會偏低；細度愈高則活性指數會偏高。事實上，爐石粉的細度應視實際所需而定，細度的提高除使加工成本增加外，亦可能加速膠結材料的反應速率，提高水合熱。除非為了配製高強度或其他特殊用途之混凝土外，一般係使用活性指數 100 級以上，細度在 4,000 cm^2/g 左右之爐石粉。

2.爐石粉添加量

爐石粉之添加量應依添加目的、膠結材料及摻料品質、混凝土規定強度及大氣溫度等條件而異，並依試拌結果決定之。

目前 CNS 12549 對爐石粉之添加量並未規定[1.4]，而 CNS 3654 則規定在卜特蘭高爐水泥中爐石粉所佔之重量百分率應在 25%至 65%範圍之內；JIS R5211 亦有類似規定，惟 JIS R5211 將卜特蘭高爐水泥之爐石含量分為三級(A 級之爐石含量為 5%~30%，B 級為 30%~60%，C 級為 60%~70%)，並須於訂購時選定所需等級。

高爐石混凝土之特性一般隨爐石粉添加量之增加而更為顯著。例如混凝土水合熱隨爐石粉添加量之增加而大幅降低，如表 6.1 所示。

為確保高爐石混凝土品質，高爐石粉應適量使用，設計者可依據設計需求，參考 JIS R5211 之建議，訂定爐石粉添加量之要求。若採用爐石粉替代部分水泥添加於混凝土時，爐石粉添加量可參考表 6.2。惟建

築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率應在 30%以內，其他工程則建議在 65%以內。

表 6.1 添加爐石粉及飛灰之混凝土水合熱參考值[6.1]

編號	膠 結 材 料	水 合 熱 (cal/g)			
		3 天	7 天	28 天	90 天
1	100%OPC	72.4	74.8	82.9	96.1
2	60%OPC+40%Slag	52.1	61.1	71.6	75.7
3	40%OPC+60%Slag	47.2	56.1	66.5	73.0
4	20%OPC+80%Slag	35.2	37.0	39.9	44.4
5	80%OPC+20%FA	58.7	66.2	70.9	72.0
6	60%OPC+40%FA	47.9	55.0	60.5	62.0
7	40%OPC+60%FA	--	--	44.4	46.1
8	40%OPC+30%Slag+30%FA	38.5	45.9	58.4	60.0
備註	OPC：卜特蘭 Type I 水泥 Slag：高爐石粉(細度：4200cm^2/g、活性指數：100 級) FA：Class F 飛灰				

表 6.2日本高爐石粉種類與適用替代率之範圍 (%)[6.2]

（建築工程地面上結構除外*）

種類 / 用途	高爐石粉 4000 級	高爐石粉 6000 級	高爐石粉 8000 級
水合熱引起溫度上昇之抑制	50~70	60~70	60~70
鹼-骨材反應之抑制	40~70	40~70	40~70
提高耐硫酸鹽	50~70	50~70	50~70
對海水之化學抵抗性(含鹽害)	45~55	45~60	45~70
高流動化	30~70	30~70	30~60
高強度化	---	30~50	30~60

註：*本表係由日本土木學會依照過去之研究成果所提供之參考值，於日本至今尚無定論，但因國內此方面資料缺乏，尚可供參考，唯不適用於建築工程之地面上結構。

建築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率在 30%以內。

ACI 233R-95 有關耐久性、低水合熱等特殊用途之爐石粉替代率之相關建議，可供鄰近海域或暴露解冰鹽區域構造物設計之參考，條列如下：

(1)在需要高度抗硫鹽侵蝕之用途時，爐石粉替代率至少為 50%。

(2)在凍融環境及有海水鹽分侵蝕情況下，爐石粉替代水泥量不宜太高，可參考土木 402-88(ACI 318-95 亦有類似規定，詳表 6.3)。

(3)在減少鹼-骨材反應時，爐石粉之最佳替代率為 40%~70%。

(4)低水合熱之用途下，如巨積混凝土壩，爐石粉之替代率可高達 70%。

表 6.3暴露於解冰鹽混凝土之特別規定[6.3]

膠 結 材 料	佔總膠結料重量之百分比上限
(1) 飛灰或其他卜作嵐材料(CNS 3036)	25
(2) 矽灰	10
(3) 爐石粉(CNS 12549)	50
(4) (1)+(2)之總量	35
(5) (1)+(2)+(3)之總量	50
註 1：總膠結材料重量包括水泥及各項膠結性礦物摻料之總重量。	
註 2：表中之卜作嵐材料及爐碴粉等重量是以總量計算，卜特蘭飛灰水泥或卜特蘭高爐水泥等混合水泥中所添加之膠結材料仍應受總量之限制。若普通水泥中含飛灰或爐碴粉時，應依上述考量。	
註 3：(4)及(5)中之各單項用量仍須符合(1)、(2)、(3)之規定。	

6.3 混凝土配比之基本要求

ACI 211.1-91 建議施工規範標明下列各項之全部或部分，以作為辦理混凝土配比設計之依據：

(1)最大水膠比；

(2)最少水泥用量；

(3)含氣量；

(4)坍度；

(5)骨材最大粒徑；

(6)強度；

(7)其他要求(例如，膠結材料、摻料或骨材等特別要求)。

中國土木水利工程學會混凝土工程委員會「混凝土工程施工規範與解說(土木 402-88)」則要求構造物各部份之混凝土配比設計應(1)符合設計圖說所示之規定強度(2)最大水膠比限制及(3)其他要求。

為充分傳達設計理念，混凝土工程所需使用之各級別混凝土及其特訂要求，須在設計階段予以擬定，並載明於設計圖說中。尤其爐石粉之使用，常有耐久性或低水合熱等特別之設計考慮，設計者更應詳細檢討混凝土之特訂性能要求，並彙整建立各級別混凝土之基本規格表(樣式請參考表 6.4)。

表 6.4混凝土級別及相關要求 (範例)

級別	規定強度 $f_c'(kgf/cm^2)$	最大水膠比	標稱最大粒徑 (*mm*)	使 用 位 置
280A	280(28 天)	0.50	20	筏基以外之結構物
280B	280(91 天)	0.55	25	筏基

註：混凝土之坍度要求應按工程特性決定之。

研擬各級別混凝土配比之基本要求時，應考慮下列注意事項：

1.耐久性要求

混凝土構造物在設計上，除需考慮具足？之強度，以承受設計載重外，尚需考慮在外界侵蝕環境因素之影響下，於設計使用年限內，能以最少的維修成本保持應有之設計功能。

以往設計者常僅以結構分析所得結果決定混凝土規定抗壓強度(f_c')，而忽略耐久性之需求，以致造成混凝土構造物容易因台灣地區海域環境或工業污染環境之侵蝕，造成劣化現象，對混凝土構造物之使用壽命或維修成本造成不利影響。「混凝土工程施工規範與解說(土木

402-88)」對特殊暴露環境下，混凝土應同時滿足最大水膠比及最小規定抗壓強度之規定(如表 5.1 及表 5.2 所示)。

2.規定強度之齡期

混凝土規定抗壓強度(f_c')一般為混凝土標準圓柱試體 28 天齡期時之試驗極限強度。惟爐石粉添加量達 50%以上，且不須要求早期強度之混凝土，若結構物實際承受設計荷重之時間可以配合，得將規定強度之齡期酌予延長，如訂為 56 天或 91 天，以充分利用高爐石混凝土早期強度發展較慢，後期強度發展較佳之特性。在低水合熱之用途下，可適度延長規定強度之齡期，方能使用最低膠結料用量，降低混凝土水合熱。

3.早期強度之管制

除另有早期設計強度之要求外，混凝土 7 天齡期之抗壓強度一般係作為提供瞭解混凝土強度發展指標之用，以便在 7 天齡期強度較低時，及早採取應變措施。由於混凝土強度隨爐石粉及摻料添加量之變化，而有不同的強度發展曲線，故應於施工階段由承包商依據核定配比，求得 7 天齡期強度之參考值，作為施工控制之用，不宜在設計圖說硬性規定 7 天齡期所需強度，以免造成實際執行之困擾。

6.4 施工階段之因應措施

設計者應參考本手冊第七章之規定，將相關施工階段之規定及要求載明於設計圖說。

參考文獻

6.1 王和源等，〝公共工程混凝土使用爐石水泥之可行性評估〞，期末報告 NKIT-C-8805, 民國 88 年 11 月。

6.2 日本土木學會，「高爐石粉末應用於混凝土施工指針」，平成 8 年。

6.3 ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95).

6.4 ACI Committee 233, 〝Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete〞, American Concrete Institute, Detroit, 1996.

第七章 混凝土之產製與施工

7.1 一般事項

高爐石混凝土之產製與施工，包括材料計量、拌和、輸送、澆置、養護及拆模等過程。相關產製與施工之規定及注意事項，除本章中所提出應特別注意及規定之事項以供參考外，尚應依照中國土木水利工程學會之「混凝土施工規範與解說(土木 402-88)[7.1]」第七章產製、第八章輸送、第九章澆置及第十二章養護，及中國國家標準 CNS 3090 [預拌混凝土][7.2]之規定辦理。另外，高爐石混凝土之產製、施工及養護作業與飛灰混凝土非常類似，亦可參考公共工程委員會編訂之「公共工程飛灰混凝土使用手冊」[7.3]之第七章。工程司在進行高爐石混凝土之產製與施工前，應已熟悉一般混凝土之產製與施工等相關規定要求，並對施工期間可能發生之狀況備有因應措施。

7.2 混凝土產製

高爐石混凝土在產製上應特別注意事項如下：

1.高爐石粉配料計量

(1)高爐石粉係作為一種膠結材料，故其計量精度要求應與水泥相同。

(2)高爐石粉宜單獨計量，若與水泥採同一計量裝置累計計量時，則其下料稱重應跟隨在水泥之後。

2.拌和

(1)為求高爐石混凝土能達到拌和之均勻性，其拌和時間可按土木 402 混凝土施工規範 7.3.3 節之規定辦理，其拌和時間受拌和設備性能、下料順序、配比、高爐石粉用量及坍度等影響。

(2)在預拌廠添加高爐石粉之高爐石混凝土，其拌和較不易均勻，故於產製時除須符合均勻性之要求外，為減少浮水現象，可考慮適當增加其拌和時間。

(3)如採用高爐水泥時，其拌和與使用一般水泥無異。

7.3 混凝土輸送

高爐石混凝土自預拌廠運送至工地所須注意事項與一般混凝土無異。惟高爐石混凝土無論在任何條件下，均不可再加水，以免造成混凝土材料嚴重析離、浮水增加、表面起灰、龜裂、強度及耐久性降低等不良現象，嚴重影響品質。(此係因國內之混凝土施工時有加水、不重視混凝土養護等惡習，且有於混凝土未達足夠養護期前即拆模或加載重之情況)。高爐石混凝土運抵工地時，在送貨簽單上除一般應註明之內容外，應註明高爐石混凝土之高爐石粉替代量或高爐石水泥種類。

7.4 混凝土澆置

高爐石混凝土在澆置作業上與普通混凝土相似，惟因高爐石混凝土在新拌階段之特性與普通混凝土稍有差異，澆置時應注意下列各種影響因素。

1.工作性之控制

一般而言，高爐石混凝土比普通混凝土具有較佳的澆置性，易於搗實，尤其使用高量及高細度之高爐石粉時，混凝土稠度將增加。通常在相同的水膠比下，其坍度將隨爐石粉替代率之增加而略有提高，惟其澆置作業仍應依照普通混凝土之規定施工。高爐石混凝土之凝結時間較長，在寒冷天候下，應適當調降減水緩凝劑之使用量。

2.浮水過量之改善

使用較高量、低細度高爐石粉之高用水量混凝土時，混凝土可能浮水較多，易產生塑性龜裂或表面起粉等現象。為減少其影響，建議配比調整如下：

(1)適當降低用水量。

(2)適當添加輸氣劑。

(3)添加適量之工作助劑(如飛灰、石粉等)。

3.澆置速率之控制

由於高爐石混凝土之凝結速率較慢, 故澆置高流動性高爐石混凝土時，應注意其澆置速率，以免牆柱等模板承受過大之側壓，並應按模

板的特性規定牆柱一次澆注之高度，以免發生爆模現象。冬季施工時，應特別注意緩凝劑用量之調整。

7.5 表面修飾

高爐石混凝土因添加高爐石粉會延長其凝結時間及增加浮水量，故應注意下列事項：

1.必要時可於施工前選取小面積之澆置面進行試作。

2.將修飾時機酌予延後，必要時可進行二次修飾。

3.因凝結時間延長可能增加塑性收縮龜裂之機率，故應及早進行養護作業，如擋風、噴霧、遮蔭等方式。

7.6 養護

有關高爐石混凝土之養護作業與普通混凝土大致相似，除保持適當溫濕度、防止強風吹襲、避免日光直接照射等，尚應特別注意以下事項：

1.開始養護時機

高爐石混凝土受早期環境影響程度較普通混凝土大，故在浮水消失前或在不影響表面修飾下，即應進行養護作業。高爐石混凝土性質之發展與混凝土的初始溫度、大氣溫度、高爐石粉的級別及用量、水膠比及卜特蘭水泥的特性等有關，故應加以評估開始養護時機。

2.養護溫度

養護溫度對混凝土強度的發展會有極大的影響，養護不良的狀況對高爐石混凝土的傷害將比普通混凝土嚴重。對於工地遭遇低溫狀況，如冬天野外或高山區，尤其使用低強度混凝土並適逢寒流來襲時，應採預防措施，如預先調整配比(降低高爐石粉替代量、減少緩凝劑用量)或適當保護措施(如覆蓋、防風)，使其強度達到設計要求。此外，在拆模時間亦應因低溫狀況而予延後。

3.養護時間

高爐石混凝土所需養護時間應依水泥品質、高爐石粉級別與替代率及大氣溫度等而定，參考日本土木學會所建議之養護時間[7.4]及土木 402 第 12.2.4 節規定，一般混凝土至少須持續 7 天之要求，高爐石混凝土之養護時間得予延長，如表 7.1 之建議。若於工地製作圓柱試體放在構造

物附近以相同的方法養護，當圓柱試體之平均抗壓強度達 f_c'之 70%以上，則可停止保濕養護措施。

表 7.1高爐石混凝土最少濕治養護建議時間 (天)

	爐石粉用量(佔總膠結料量)[a]		
大氣溫度 °C [b]	30–40 %	40-50 %	50-60 %
>17	7	7	7
11-17	7	8	9
5-10	9	10	11

註： a.本表所列高爐石粉等級為 CNS 12549 [混凝土及水泥墁料用水淬高爐爐碴粉]之 100級，相當於比表面積 4,000㎠/g以上。若比表面積為 5,000㎠/g以上時，其表列之養護時間可依工地養護情況酌予減少。

b. 大氣溫度指養護過程中之最低日均溫。

7.7 拆模

高爐石混凝土其強度發展較一般混凝土為慢，且須更長的養護時間。在夏天及冬天，氣溫有顯著不同下，其強度發展也不同，故拆模前應先確定混凝土的強度已足以承擔其自重及外來載重，不致產生裂縫及其它不利之影響為原則，故在可能之情況下，應以混凝土之強度決定拆模時間，可按土木 402 之有關規定。最低拆模要求強度之計算方法，可參考文獻[7.5]及[7.6].。若欲提前拆模，則應採適當的再撐措施。確切拆模時間應以工地混凝土圓柱試體之抗壓強度達可拆模強度為依據。

參考文獻

7.1. 中國土木水利工程學會，「混凝土工程施工規範與解說(土木 402-88)」,1999。

7.2. 中國國家標準，CNS 3090，「預拌混凝土」。

7.3. 日本土木學會，「高爐石粉末應用於混凝土施工指針」，平成 8 年。

7.4 公共工程委員會，「公共工程飛灰混凝土使用手冊」，民國八十八年。

7.5 沈進發,「模板工程」，pp.12-17, 1995, 台北市。

7.6 沈進發,「混凝土品質控制」, pp.232-240, 1990, 台北市。

第八章 品質管理

8.1 一般規則

高爐石混凝土品質管理之作業內容與程序與普通混凝土相同，其組成材料之製造廠及混凝土預拌廠均應依據國家標準相關規定進行例行性生產品質及性質試驗，並定期建立統計分析資訊，以供瞭解品質狀況。本章僅針對高爐石粉、高爐水泥與高爐石混凝土之特性，對其品質管理應特別注意之事項加以規定，其他有關事項請參照土木 402(混凝土工程施工規範)[8.1]第十六章之相關規定。

8.2 高爐石粉與高爐水泥之品質管制

高爐石粉或高爐水泥之進料、儲存及用料過程均須採取適當之品質管制措施，品管項目如下：

1. 進料品質管制

高爐石粉進料時，其品質須符合設計圖說所訂定之品質級別、細度（若有特別要求）及 CNS 12549 之規定[8.2]，高爐水泥進料時，其品質須符合設計圖說所訂定之型別及 CNS 3654 之規定。進行下列管制：

(1) 查核供應廠商所提供之出廠證明。

(2) 定期查核供應廠商所提供之相關檢驗報告等。

(3) 每批進料時應抽樣以目視比對其外觀顏色，並密封儲存，依工程契約規定送驗。工程契約應視工程規模及特性訂定適當之試驗頻率，但至少比照卜特蘭水泥之規定。

(4) 若發現品質不穩定或有疑慮時，應增加試驗之頻率，並檢討改進相關品管措施。

(5) 料源應維持穩定。若料源變更時，應重新抽樣檢驗，並進行混凝土配比試拌及調整。

2.儲存管制

(1) 應儲存於密閉料倉內以防受潮及污染。

(2) 膠結材料之料倉進料口應明確標示材料種類並加鎖，以防誤送。

(3) 若料倉的儲存係以隔間方式則應定期檢查是否有洩漏以防儲存材料遭污染，並應於進料時避免過量而溢出造成與其它材料的混雜。

(4) 高爐石粉或高爐水泥所需之輸送、計量等相關設備應與普通水泥分別設置，並定期清理與查驗。

8.3 高爐石混凝土施工品質管制

高爐石混凝土施工之品質管制，應於產製、輸送、澆置、養護及拆模之各階段，進行施工之品質管制。除依照 CNS 3090 [預拌混凝土][8.2]與土木 402 第七章之一般規定外，尚須參照本手冊第七章之規定辦理。並應進行以下之品質管制作業：

1.產製

(1)添加高爐石粉之混凝土達到均勻性要求所需拌和時間較長，每批開始產製時，應特別加強管制，使其品質趨於穩定。

(2)若有其他重要性質之要求者，應先經確認。

2.輸送

(1)高爐石混凝土輸送時應依照土木 402 第八章之規定，確保能儘速送達工地，避免坍損過大不適合澆置。

(2)混凝土輸送中不得添加任何未經許可之材料，尤其嚴禁加水。

3.澆置

高爐石混凝土在澆置施工，除應依照土木 402 第九章之規定外，並應特別注意下列事項：

(1)送至工地進行澆置之混凝土須先檢視工作度符合施工規範之規定，必要時應進行試驗，確認其坍度，方可進行澆置作業；其坍度之容許差應按 CNS 3090 之規定。

(2) 當坍度不符合施工規範之規定時，應依照土木 402 第 7.4 節之規定辦理。

4.搗實

高爐石混凝土雖可能具較佳之工作度，但仍應適當充分搗實，避免搗實不足發生孔洞、蜂窩或其他施工瑕疵；但亦不應過度搗實，以免發生材料析離及浮水現象。

5.養護

(1)高爐石混凝土之初期強度發展較慢，其養護作業非常重要，應按土木 402 第十二章之規定進行確實之養護，並應按其第 12.4 節之規定評估其養護效果。

(2)作為決定拆模或施加預力時間依據之混凝土圓柱試體，其養護之環境、溫濕度及歷程條件應與結構體一致。

6.拆模管制

高爐石混凝土之強度發展較普通混凝土為慢，強度發展至可拆模之時間且須較長之時間，因此除須加強養護之外，拆模之時間亦應按本手冊第 7.7 節之規定，以免太早拆模發生問題。

8.4 品質檢驗

高爐石混凝土應依照土木 402 施工規範第十七章之規定，取樣做品質檢驗，若高爐石混凝土規定抗壓強度之齡期訂在 56 天以上時，除規定強度之齡期以外，需有 7 天及 28 天之抗壓強度作為推測規定齡期抗壓強度之參考。

8.5 品質評定與認可

高爐石混凝土得依照土木 402 第十八與十九章之規定，進行混凝土施工品質之評定與認可。

參考文獻

8.1.中國土木水利工程學會，「混凝土工程施工規範與解說(土木 402-88)」，1999。
8.2.中國國家標準,「預拌混凝土相關國家標準彙編」,1993。