

港灣構造物耐震性能設計架構之研究

A Study on Performance-Based Seismic Design Framework of Port Structures

主管單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心¹

張權²

薛強²

賴瑞應¹

Chang, Chyuan

Xue, Qiang

Lai, Jui-Ying

財團法人中興工程顧問社土木水利與軌道運輸研究中心²

摘要

性能設計法之目標在於使構造物之設計、評析及營建能確保它在各種規模的荷載作用時，其性能可滿足業主、使用者與社會的各種需求。本研究首先介紹性能設計法之基本理念、設計流程及相關內容；接著回顧國內設計基準之概況，比較美國、日本、歐洲性能設計準則，探討各種港灣構造物之破壞型式，建立各種等級地震危害下所具有之性能等級—即性能要求，確定相關性能規定；然後探討性能設計由簡易到複雜之分析方法及其適用性；最後對今後相關研究課題提出建議。本研究成果可以提昇國內產官學研界之相關設計與研究水準，以因應技術發展及國際化之需求。

關鍵詞：耐震設計、性能設計、性能目標、港灣構造物

Abstract

The purpose of performance-based design is to ensure that design, evaluation, and construction of engineered facilities whose performance under common and extreme earthquake ground motions responds to the diverse needs and objectives of the owners, users and society. In this study, the fundamental methodology, design framework and related subjects of performance-based seismic design were first introduced. Afterward this study review the state of current design code, compare the design guideline of foreign countries such as USA, Japan and Europe, established the performance objectives and corresponding acceptance criteria of the damage parameters based on the possible damage behavior of port structures under various level of earthquake ground motions. Then, Analysis methods varying with simplified to complicated were investigated. Finally, conclusions were drawn and suggestions for further studies were made. The research results will improve domestic design and research standard to catch up with the international technology development accordingly.

Keywords: Seismic Design; Performance-Based Design; Performance Objective; Port Structure

一、前言

以往耐震設計規範係要求構造物設計須滿足「小震不壞」、「中震可修」、「大震不倒」的原則，因而耐震設計規範採用構造物之用途係數 I 來間接表達其預期性能，該耐震要求僅定性地隱含在傳統強度設計法中，並未明確加以量化，然而性能設計法則要求以直接透明之參數來表達構造物之破壞狀態或性能，使設計者、業主及使用者能充分瞭解未來在不同等級地震作用時，構造物可能產生的損失程度及破壞狀況與使用性，性能設計法同時考量結構整體、構件與附屬設施在不同等級地震危害下之多等級耐震要求，構造物在某一設計地震危害下被期望具有的耐震性能、重要性或經濟性，並且加以量化 (即性能規定 Performance Criteria)，如此構造物之耐震性能即可採用『在各設計地震作用下分析構造物之強度、變形、能量或其他破壞指標 ≤ 性能規定』的方式進行檢核。

二、耐震性能設計架構

結構物的耐震性能，是指其在各級地震作用下所產生的狀態，以及這些狀態所造成的影響或後果。耐震性能設計法即是以控制結構耐震性能為標的，以符合相關安全性、服務性與修復性等需求之耐震設計方法。耐震性能設計法之架構與內容如圖 1 所示。

2.1 選擇性能要求

概念設計階段首先要建立性能要求，包括地震等級之劃分、地震力之表達方式、所對應性能等級之定性劃分、性能等級定量表達。

2.2 工址可建性

工址可建性分析除了了解工址所在地區之環境敏感特性以外，主要需明確分析工址地盤土壤特性，包括：地質、地形、週遭地震活動狀況及其他潛在危害(如斷層破裂、土壤液化、海嘯等)，例如：對港灣構造物所在位置土壤液化潛能之分析，了解該工址土壤液化之可能性，確定耐震性能要求是否可以達到，否則應經由 a. 地盤改良或變更基礎設計； b. 遷移工址； c. 修改設計性能要求等方式進行調整，以保證所選定之工址、設計及營造方法最終能使構造物滿足業主及規範之性能要求。

2.3 系統規劃

不經由具體設計而確定構造物形狀、結構系統、結構佈置、基礎、非結構構材以及材料，需設計者的經驗、直覺和判斷，主要目的在於減小因結構分析或不確定因素所造成分析結果與結構之真實行為之間的差異。

2.4 實體設計

即經由數值分析計算出設計地震力作用下之相關地震力反應參數(如應力或應變、韌性比、變形、能量或其他破壞指標等)，並與概念設計階段所建立之性能規定

參數標準值或可接受值作比較，以「在各地震危害等級下，分析所得之結構量化反應(如應力或應變、韌性比、變形或其他破壞指標) \leq 性能標準值」為結構性能之可接受標準。

三、耐震性能要求

從日本 2007 年「港灣の施設の技術上の基準・同解説」中可知，日本對港灣設施的設計在地震力計算上，係利用機率法考量歷史災害，震源等因素進行地震危害度分析，進而得到地震地表歷時，此法在國內多應用於水庫設計，但由於計算方法複雜，且港灣構造物數量較多，此法對於國內港灣構造物設計應用並不實際。另外，在性能標準規定上，日本已正式進入構造物破壞機率可靠度的要求，此類設計標準要求亦為國內工程師設計能力的另一種挑戰。因此為免演進幅度過大，本研究建議國內港灣構造物耐震性能設計可先參考 2001 年的國際航海協會港灣構造物耐震設計準則，該規範在性能標準規定上甚為詳盡，亦與國內其他構造物耐震性能規範研究之架構雷同。

國際航海協會港灣構造物耐震設計準則(INA 2001)除了對構造物在等級一地震力作用下之性能提出要求以外，在等級二地震力作用下，對應第 I~II~III~IV 級性能等級之 S~A~B~C 級耐震設施，基本相當於國內規範中之「特定(S 級)、A 級、B 級與 C 級」四種類別構造物，不同之處在於：國內現行規範，目前僅攏統地要求在 475 年回歸期設計地震力下，剛性結構物不得產生滑動、傾斜以及主體與基礎承载力不足之破壞，需保持安定，非剛性結構物允許發生塑性變形，但韌性比不超過容許韌性容量，對於在同樣等級設計地震力下，「特定(S 級)、A 級、B 級與 C 級」四種類別構造物(包括剛性與非剛性)不同之行為或性能並未如「INA 港灣構造物耐震設計準則」明確定性甚至量化，僅以不同重要度係數來修正在同等級設計地震力作用下施加於結構之等效側向力之大小，間接調整構造物之耐震性能；「INA 港灣構造物耐震設計準則」引進之性能設計法，係根據重要度等級「特定(S 級)、A 級、B 級與 C 級」結構物在所考量之各等級設計地震力下之不同性能等級加以定性，並以不同大小之可接受標準值加以限定，較類似國內橋梁建築耐震性能設計研究之理念。

3.1 地震等級

國內「公共工程性能設計準則」中建議設計地震力必須考量三等級地震力，而國內建築、橋梁耐震性能設計規範草案亦皆定義三等級設計地震，然而「INA 港灣構造物耐震設計準則」僅以兩等級地震進行設計，但為符合國內耐震性能設計架構之一致性及國內工程師之設計習慣，本研究仍建議維持 2500 年回歸期地震(50 年超越機率 2%)作為最大設計地震考量。

而目前國內「港灣構造物設計基準」之設計地震力是參照 2005 年版「建築耐震設計規範」，同為三等級設計地震力如表 1 所示。

本研究參考港灣技術研究中心之「港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究」報告中基隆港、台中港、高雄港、蘇澳港的各港區平均地震危害度曲線，如圖 2，推估出目前國內建築及橋梁各重要度等級之中度地震所對應的回歸期(概略

值)，如表 2 所示。由表中數值顯示，目前國內現行「港灣構造物設計基準」之中度地震在各港區工址所對應的地震回歸期皆約為 30 年，而 2500 年回歸期地震 PGA 則約為 475 年回歸期地震的 1.3~1.4 倍。

依據前述資料，港灣構造物耐震性能設計之地震力等級建議修正項目如下：

1. 中度地震之規定

一般而言按照不同種類之構造物的重要度排序，其次序應為碼頭、橋梁、建築，由國外各建築橋梁耐震規範之規定亦可看出此排序現象，例如日本及 INA 規範之中度地震皆設定為 75 年回歸期地震，而日本橋梁規範之中度地震則設定為 50 年回歸期地震，然而國內「港灣構造物設計基準」採用建築耐震設計規範之中度地震，其為 475 年回歸期地震除以 4.2，所對應之地震回歸期約為 30 年，明顯低於國際規範，亦低於國內橋梁耐震設計規範之中度地震(475 年回歸期地震除以 3.25)。因此本研究建議至少應將現行規範碼頭之中度地震強度由「475 年回歸期地震除以 4.2」上調至「475 年回歸期地震除以 3.25」，至少與橋梁相同，則地震回歸期約提昇至 50 年，較符合碼頭之重要性程度。

2. 設計地震與最大考量地震

碼頭結構形式及靜不定度與橋梁工程較相近，不如建築結構因高靜不定度而擁有較高的降伏後強度，因此設計地震與最大考量地震之計算公式中，分母係數 1.4 應改為 1.2 與橋梁相同較為恰當。三等級地震力計算方式皆與橋梁相同，如表 3 所示。

3.2 性能等級

本研究依各國性能規範之慣例，從構造物之「使用性」、「修復性」、「安全性」三方面考量，並參考國內現行「港灣構造物設計基準」之性能等級定義，建議出未來國內港灣碼頭耐震性能設計之性能等級。

由於 475 年回歸期地震為主要的設計地震，而國內碼頭結構設計之重要度分類向來皆分為 4 種(特定、A 級、B 級、C 級)，此與國際規範相同；再者，「公共工程性能設計準則」中亦說明，耐震性能設計的基本概念主要是採用構造物的非線性行為分析進行設計，故應將「用途係數」轉換於耐震性能等級的要求上面，而非用於設計地震力的放大；因此在同一 475 年回歸期地震作用下，欲區分 4 種不同重要度構造物之性能等級，即須具有 4 級性能等級之制定，如表 4。而其第 I、III、IV 級性能等級亦恰符合現行「港灣構造物設計基準」設計目標中三等級地震所各別對應的性能要求。

3.3 重要度分類

為了維持業主及工程師既有的設計習慣，碼頭重要度分類建議仍然維持現行規範的規定，如表 5，目前國內現行規範訂立的港灣構造物重要度分類與「INA 港灣構造物耐震設計準則」雷同，如此則亦可參考「INA 港灣構造物耐震設計準則」之相關規定來制定國內港灣碼頭之耐震性能要求。

3.4 現行規範之性能要求

國內現行規範以一般碼頭基本設計要求所考慮之三個地震等級，對應有三個性能等級，分別為「維持原有功能」、「損傷可修復」、「避免崩塌」，重要碼頭之性能要求則以用途係數間接提高。4種等級碼頭「特定級、A級、B級與C級」的用途係數，分別為1.5、1.25、1.0、0.8，由此可知，各等級地震所對應之結構性能要求，應顯示著特定級碼頭性能要求高於A級碼頭，A級碼頭性能要求又高於B級碼頭，B級碼頭性能要求則高於C級碼頭，以上性能要求之描述可歸納如表6所示。

而從「INA 港灣構造物耐震設計準則」之性能要求（

表7）可知，國內現行規範之特定級碼頭（耐震強化碼頭）的性能要求明顯低於國外規範，尤其台灣為海島型國家，所有原物料及物資皆需倚靠港口運輸，特別是災難性地震發生時，外援物資對於社會經濟恢復格外重要，設立耐震強化碼頭的目的即是在災難地震後仍可有部分功能良好之碼頭可供救援物資運輸，因此國際航海協會(INA)及日本規範對於特定級碼頭之性能要求皆為475回歸期地震作用下結構須保持彈性，而國內現行港灣構造物設計基準則是以中度地震力的1.5倍作用下保持彈性作為設計基準，而由表2可知1.5倍中度地震約為75年回歸期地震，其遠小於475年回歸期地震，此性能要求可否滿足特定級碼頭所需之救災功能值得商榷，故建議應予調整提升。

3.5 國內碼頭性能要求制定建議

由原規範B級碼頭之用途係數為1.0可知，B級碼頭為一個標準碼頭，因此吾人可依原規範賦予B級碼頭之性能要求為基準，按各種碼頭之重要度依序分配各地震等級所應對應的性能等級。

475年回歸期地震為主要設計地震，在此等級地震作用下，4種碼頭將按重要度依序對應4種性能等級。因此為引入耐震性能設計法，規範應對具特別重要性需在震後維持使用功能以利救災、需處理危害物品、或其破壞對人命、社會、經濟有嚴重衝擊損害之設施，定為「特定級」耐震強化碼頭，其性能要求在475年回歸期地震力作用下應滿足第I級性能等級；若以上各項影響較小，但破壞後很難修復者，則定為「A級」碼頭，在475年回歸期地震力作用下應滿足第II級性能等級；小型且修復較容易之設施或臨時結構，定為C級碼頭，在475年回歸期地震力作用下應滿足第IV級性能等級；其他非「特定、A級、C級」碼頭者則為B級碼頭，在475年回歸期地震力作用下應滿足第III級性能等級。

中度地震以橋梁規範之計算方式為主，由約30年回歸期提升至約50年回歸期，由於特定級碼頭已要求在475年地震作用下保持彈性滿足第I級性能等級，因此不需額外檢核中度地震作用下之性能要求，其餘A、B級碼頭為中度地震作用下須滿足第I級性能等級；另C級碼頭依序為滿足第II級性能等級。

本研究建議之性能要求不同於日本與INA規範，須增加2500年回歸期最大考量地震所對應的性能等級來規定「特定級」、「A級」與「B級」的碼頭性能，以滿足現行規範要求A、B級碼頭在2500年回歸期地震作用時應不會發生倒塌，而「特

定級」碼頭之損壞更不可高於 475 年回歸期地震作用下之性能等級，使其在災難地震後仍具有修復機會。因此建議在 2500 年回歸期地震作用下，按重要度排序，特定級碼頭須滿足第 II 級性能等級，A 級碼頭須滿足第 III 級性能等級，B 級碼頭須滿足第 IV 級性能等級，而 C 級碼頭在此等級地震作用下應已崩塌故不需檢核。

綜上所述，在提升中度地震等級與特定級碼之性能要求後，各級碼頭對應的性能要求可歸納如表 8 所示。工程師可依據環境條件與業主對功能之要求來選擇合適的碼頭等級，再依據該等級碼頭所對應之性能要求進行設計、分析、檢核。

由表 8 可知，「C 級」碼頭僅須檢核中度地震及 475 年回歸期地震下對應之性能等級，而「B 級」與「A 級」碼頭則需檢核中度地震、475 年及 2500 年回歸期三種等級地震下所對應之性能等級。「特定級」碼頭僅需檢核 475 年及 2500 年回歸期兩種等級地震下之性能等級。

3.6 現行規範與本案性能要求差異

本研究將「建議的港灣碼頭耐震性能要求」與「現行規範的耐震性能要求」繪製成性能要求區域圖，可比表 6 及表 8 更清楚說明國內現行規範之性能要求的定義及特性，該圖縱軸各等級回歸期地震強度之比例係按圖 2 各港區之平均地震危害度曲線推估而得，雖為一概略性的比例，但較能反映各等級碼頭之性能要求的確切界線為何。如圖 3 所示，差異處條列如下：

1. 基本上建議的性能要求涵蓋範圍比現行規範大，因此工程師進行碼頭設計時將更具彈性。
2. C 級碼頭的性能要求與現行規範比較稍不保守，但可明確掌握結構性能並具經濟性，加以突顯 C 級碼頭適用於小規模結構物復舊作業容易者或臨時結構之特性。
3. 特定級碼頭性能要求比現行規範保守許多，但與國際航海協會 INA 及日本規範之性能要求相同，以突顯設置耐震強化碼頭之概念。
4. A 級碼頭與 B 級碼頭之建議性能要求，除中度地震回歸期稍調高外，其餘性能要求皆與現行規範相近。

四、耐震性能驗證方法

性能設計法係一「初步設計」+「檢核」+「最終定案」的過程，先間接採用傳統或工程師熟悉之方法進行初步設計後，再以數值分析檢核在各等級地震力作用下，碼頭的性能參數值不可超過可接受標準值來確保滿足性能要求。

在性能設計流程之具體設計階段，結構物之性能是否滿足設計要求通常需要經由數值分析來檢核：性能參數計算值 \leq 性能規定之可接受標準，以保證設計者能準確地掌握結構之行為，即通過數值分析預測結構之真實行為，要求所採用的分析方法要合理、可靠，因此必須根據構造物不同之結構型式及性能要求之高低，來選用不同的分析工具，原則上，性能要求越高者所對應之分析工具就可能越複雜。所以對應不同等級耐震性能要求之碼頭結構物，考量碼頭結構系統型式之差異，由簡至繁分別提出較適用的耐震能力分析方法，以作為設計者針對不同需求或時機而選擇

何種分析方法之參考。

參考國際航海協會(INA)的港灣構造物耐震性能設計準則，將分析碼頭結構物耐震行為之分析方法由簡到繁分為簡化分析(Simplified Analysis)、簡化動力分析(Simplified Dynamic Analysis)以及動力分析(Dynamic Analysis)三類，選用這三種不同複雜等級之分析方法，除了與碼頭重要度等級之高低相關以外，還與所作用的地震等級相關，如表 9 所示。

依碼頭結構類型來決定適當的分析方法，並按簡化分析、簡化動力分析及動力分析三類將各種分析方法加以分類如表 10 所示；另外，從建築及橋梁的耐震性能設計研究可知，在中度地震作用結構保持彈性的目標要求下，對於具韌性之規則結構可採用擬靜力分析法進行分析，而國內耐震性能設計中常用的容量震譜法亦一併彙整納入表 10 中。

最後參照所規定之性能要求及可接受標準值，再搭配各種碼頭在不同重要度及不同地震等級下，所需採用之分析評估方法，則可制定出一標準的耐震性能設計流程，如圖 4 所示。

五、結論

本研究首先介紹性能設計法之全貌，並詳細探討地震力的劃分與表達方式、各類碼頭之各等級性能要求與性能規定，並特別介紹日本 2007 年版港灣構造物設計基準與國際航海協會港灣構造物耐震設計準則，在地震力、性能設計要求與性能設計規定方面之具體內容，再比較國內現行規範與前述兩者耐震設計要求之異同，並遵照「公共工程性能設計準則」之架構，提出碼頭結構耐震性能要求之建議，而後視吾等對碼頭結構在那些地震等級下之性能較關注、表達該性能之參數之可接受標準值是否可以較準確量化，選用一個或多個參數來表達性能。

在耐震性能設計中最重要的是耐震性能要求的訂立，若耐震性能要求確定，則後續之性能可接受標準及性能驗證便有所依循，因此本研究初期對於如何訂立適合國內碼頭之耐震性能要求探討甚多，並得到下列結論：

1. 經由現行規範之地震等級與其他規範比較探討後發現，中度地震設定太低，因此修正改用橋梁規範之中度地震力。
2. 新建議的碼頭性能要求與規定，係採用同等級地震作用下之結構反應程度定義性能要求，而現行規範則採用同性能等級下以用途係數($I=0.8\sim 1.5$)調整地震力大小作檢核設計，兩者相較後，新建議的碼頭性能要求可明確掌握碼頭結構行為與性能，較不易出現不經濟太過保守之設計。
3. 採用性能設計後，未來港區若遭遇災難性地震，則港區管理單位將可立即得知尚有何些碼頭功能良好，何些碼頭可快速修復，則可即時規劃外援物資的運輸及復舊工程的進行。
4. 新建議的碼頭性能要求區域涵蓋範圍較大，工程師若熟悉此性能設計方法，將可準確的按業主對新建碼頭功能上的要求，選用最經濟合宜的碼頭等級做設計，在整體港區碼頭新建規劃上將更為經濟。

5. 土壤液化防治的設計要求為「不可因土壤液化而造成應有性能喪失」。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所(2005)「港灣構造物設計基準修訂」。
2. 薛強、陳正忠、陳國慶(2005)，「碼頭結構物耐震性能設計目標與分析方法」，結構工程第二十卷，第一期：95-110。
3. 日本港灣協會(2007)「港灣の施設の技術上の基準・同解説」，運輸省港灣局監修。
4. 交通部(2008)，「公路橋梁耐震設計規範」。
5. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心(2009)，「公共工程性能設計準則之研究」，行政院公共工程委員會專案研究計畫。
6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2008~2011)，「港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究」，交通部運輸研究所。
7. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2012)，「港灣構造物耐震性能設計架構之研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
8. SEAOC (1995), “Vision 2000 Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, Structural Engineers Association of California-Seismology Committee, USA.
9. ATC (1996), “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Vol. 1, ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, 1996.
10. International Navigation Association, PIANC (2001) “Seismic Design Guidelines for Port Structures,” A.A Balkema Publishers / Lisse / Abingdon / Exton (PA) /Tokyo.

表 1、國內港灣構造物設計基準三等級地震力

地震等級		地震力計算公式
中度地震	約 30 年回歸期	$V^* = \frac{IF_u}{4.2\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W$
設計地震	475 年回歸期	$V_D = \frac{I}{1.4\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W$
最大考量地震	2500 年回歸期	$V_M = \frac{I}{1.4\alpha_y} \left(\frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m W$

表 2、國內橋梁建築中度地震回歸期概略值

中度地震等級	建築 I×475 年地震/4.2	橋梁 I×475 年地震/3.25
約 15 年回歸期	0.8×475 年/4.2=475 年/5.25	-
約 30 年回歸期	1.0×475 年/4.2=475 年/4.2	0.8×475 年/3.25=475 年/4.06
約 50 年回歸期	1.25×475 年/4.2=475 年/3.36	1.0×475 年/3.25=475 年/3.25
約 75 年回歸期	1.5×475 年/4.2=475 年/2.8	1.25×475 年/3.25=475 年/2.6
約 100 年回歸期	-	1.5×475 年/3.25=475 年/2.17

表 3、耐震設計規範三等級設計地震力

地震等級		地震力計算公式
中度地震	約 50 年回歸期	$V_{\min} = \frac{IS_{aD}}{3.25\alpha_y} W$
設計地震	475 年回歸期	$V_D = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W$
最大考量地震	2500 年回歸期	$V_M = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m W$

表 4、耐震性能等級定性規定之建議

性能等級	使用性	修復性	安全性
第 I 等級	功能正常	不需修復	結構無損傷
第 II 等級	短期功能喪失	可快速修復	損壞輕微
第 III 等級	長期功能喪失	修復非常困難	損壞嚴重維持生命安全 (未超過韌性容量)
第 IV 等級	無法恢復營運	須拆除重建	結構崩塌 (超過韌性容量)

表 5、各重要度等級之碼頭特性

等級	碼頭之特性
特定	明顯具有 A 級結構之特性 1 至 3 項之情形者。
A	1. 結構物在遭受地震災害時，將有可能造成多數人命及財產之損失者。 2. 負有震災後復建工作之重要任務者。 3. 儲存有害危險物品之結構物，遭受地震災害將可能造成人命或財產之重大損失者。 4. 結構物在遭受地震災害時，對於相關區域之經濟與社會活動將造成重大影響者。 5. 結構物在遭受地震災害時，其復舊作業經預測將相當困難者。
B	凡不屬於特定、A 級、C 級者。
C	特定及 A 級外之小規模結構復舊作業容易者。

表 6、現行港灣構造物設計基準之性能要求

性能等級 地震力	I	II	III	IV
中度地震	C (I=0.8)、B (I=1.0)	-	-	-
約 30 年回歸期地震	A (I=1.25)、特定(I=1.5)	-	-	-
475 年回歸期地震	-	-	C、B、A、特定	-
2500 年回歸期地震	-	-	特定	C、B、A

表 7、INA 各等級耐震構造物之性能要求

性能等級 \ 地震力	I	II	III	IV
75 年回歸期地震	S、A、B	C		
475 年回歸期地震	S	A	B	C

表 8、建議之碼頭所對應的耐震性能要求

性能等級 \ 地震等級	I	II	III	IV
中度地震	A 級、B 級	C 級	-	-
475 年回歸期地震	特定級	A 級	B 級	C 級
2500 年回歸期地震	-	特定級	A 級	B 級

表 9、各類設計方法之應用時機

碼頭重要度 \ 地震等級	特定級	A 級	B 級	C 級
等級一 (中度地震)	● -	● 簡化分析 ● 簡化動力分析 ● 動力分析	● 簡化分析 ● 簡化動力分析 ● 動力分析	● 簡化分析 ● 簡化動力分析 ● 動力分析
等級二 (475 年回歸期地震)	● 動力分析	● 動力分析	● 簡化動力分析 ● 動力分析	● 簡化分析 ● 簡化動力分析 ● 動力分析
等級三 (2500 年回歸期地震)	● 動力分析	● 動力分析	● 簡化動力分析 ● 動力分析	-

表 10、結構分析方法彙整

碼頭種類	簡化分析	簡化動力分析	動力分析	
			結構模擬	土壤模擬
剛性碼頭 (重力式碼頭) (板樁式碼頭)	● 經驗公式 或擬靜力分 析法	● 滑動塊分析	● 有限元素法或有限 差分法 ● 線性或非線性分析 ● 二或三維分析	● 有限元素法或有限差 分法 ● 線性(等效線性)或 非線性分析 ● 二或三維分析
非剛性碼頭 (棧橋式碼頭)	● 擬靜力分 析法 ● 反應譜法	● 容量震譜法 (非線性側推) ● 反應譜法	● 動力歷時分析法	● 非線性土壤彈簧

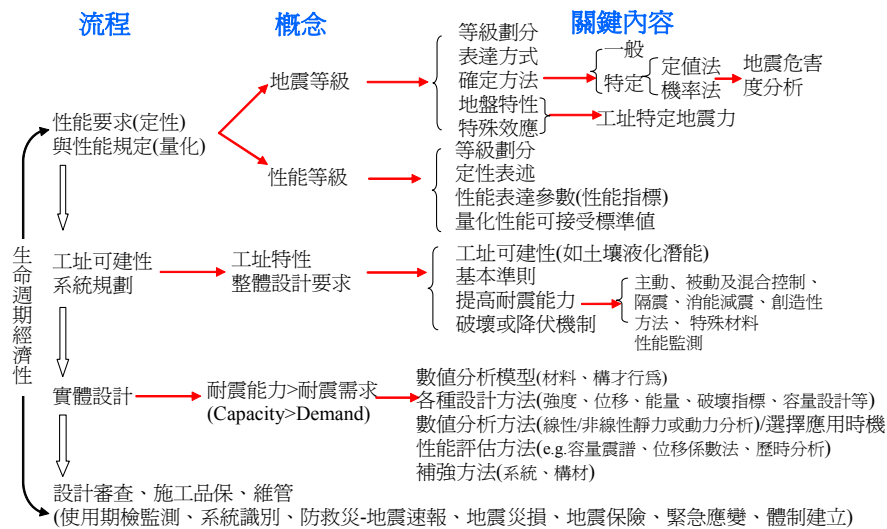


圖 1、耐震性能設計法之架構與內容

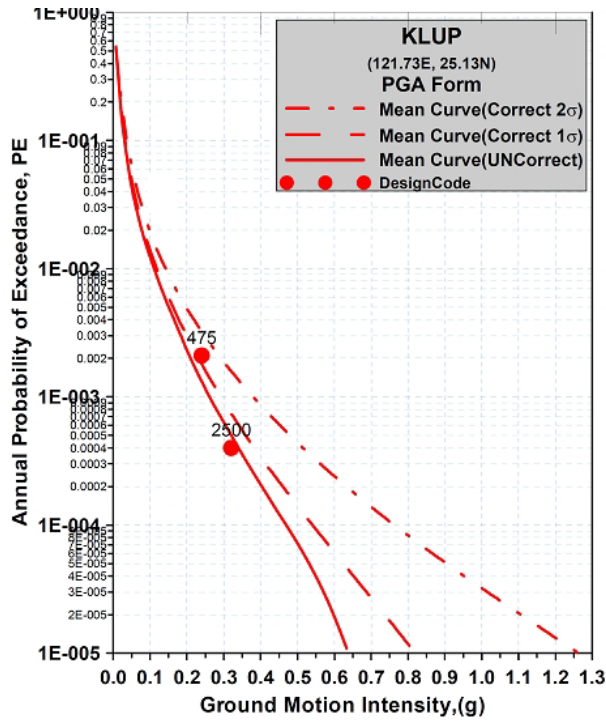


圖 2、基隆港區平均地震危害度曲線

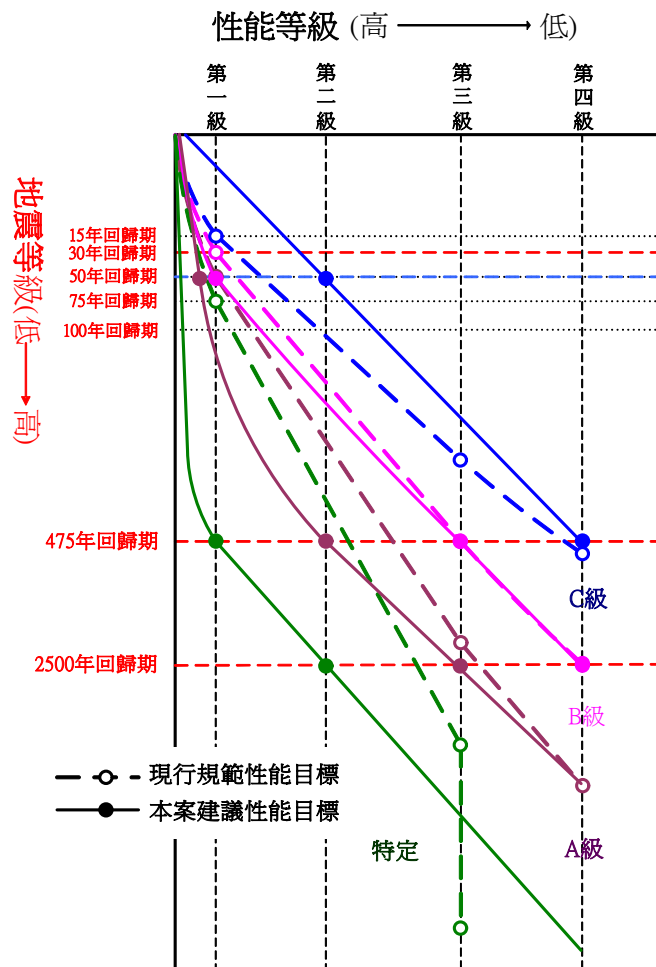


圖 3、研究建議與現行規範之耐震性能要求區域比較

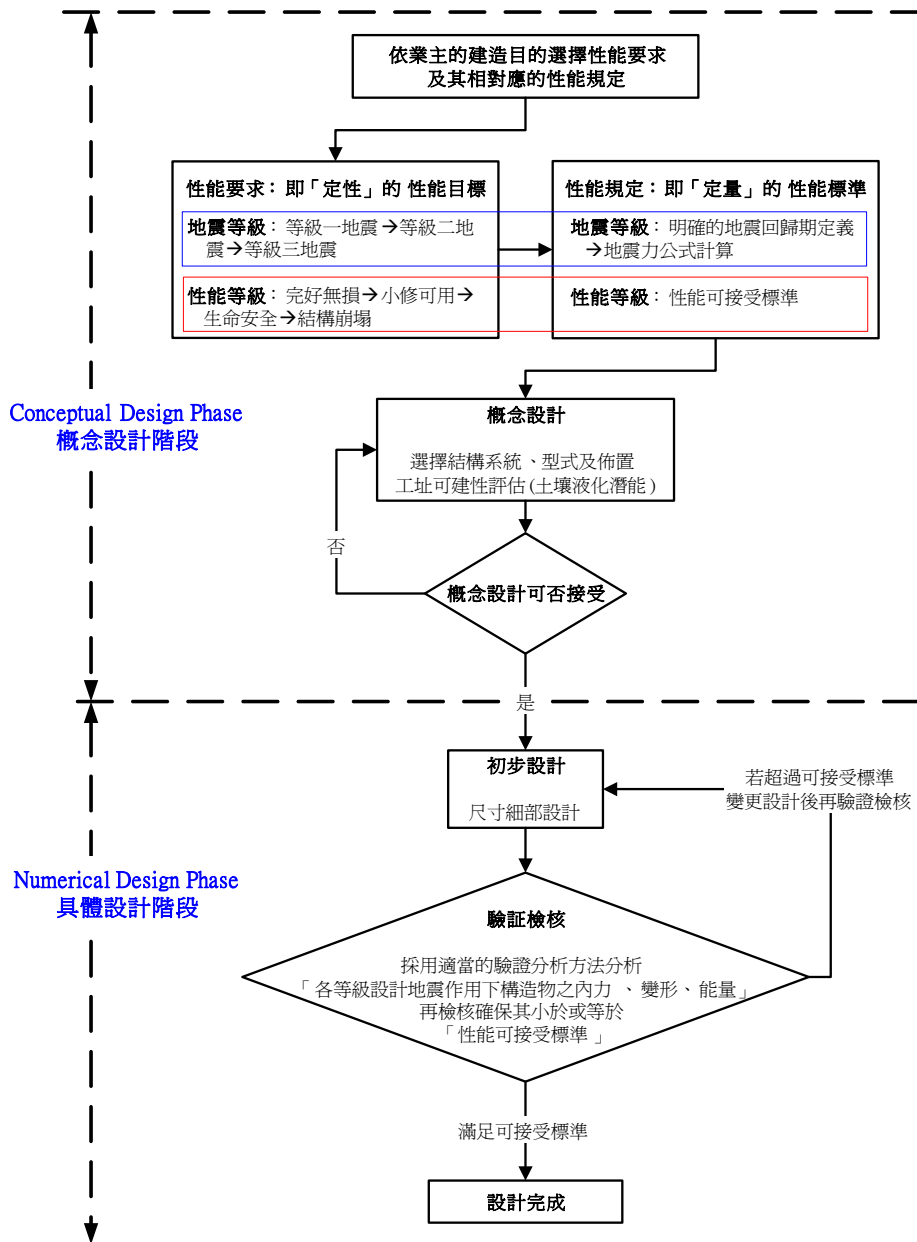


圖 4、本研究建議之碼頭耐震性能驗證流程