

第15章 土質地質調查

目次

第1節	總說.....	1
1.1	總說.....	1
1.2	調查順序.....	1
第2節	河川堤防土質地質調查.....	3
2.1	河川堤防新設時的調查.....	4
2.1.1	調查方針.....	4
2.1.2	預備調查與現場踏勘.....	5
2.1.3	細部調查（第1次）.....	6
2.1.4	細部調查（第2次）.....	9
2.1.5	填方材的調查.....	16
2.2	既有河川堤防安全性稽查調查.....	20
2.2.1	調查方針.....	20
2.2.2	預備調查與現地踏勘.....	20
2.2.3	細部調查.....	20
2.3	河川堤防受災調查.....	23
2.4	河川堤防開挖調查.....	27
第3節	河川構造物土質・地質調查.....	29
3.1	調查方針.....	29
3.2	新設河川構造物調查.....	29
3.2.1	調查方針.....	29
3.2.2	預備調查與現地踏勘.....	29
3.2.3	細部調查.....	30
3.3	河川構造物維持管理調查.....	34
3.3.1	調查方針.....	34
3.3.2	預備調查與現地踏勘.....	34
3.3.3	細部調查.....	35
第4節	壩工程地質調查.....	36
4.1	壩工程地質調查方針.....	36
4.2	壩建設計畫階段與調查內容.....	37
4.2.1	壩建設計畫階段.....	37
4.2.2	壩址評選階段.....	38
4.2.3	壩軸評選階段.....	41
4.2.4	設計階段.....	43
4.2.5	施工階段.....	46
4.2.6	維護管理階段.....	47
4.2.7	土壩基礎地盤土質調查.....	48
4.3	壩基礎等調查.....	49
4.3.1	調查方針.....	49
4.3.2	資料調查.....	49

4.3.3	地形調查.....	50
4.3.4	地表地質調查.....	50
4.3.5	物理探測.....	50
4.3.6	地質鑽探.....	51
4.3.7	調查坑調查.....	52
4.3.8	地下水調查.....	54
4.3.9	岩盤現地試驗.....	55
4.3.10	岩石室內試驗.....	58
4.3.11	壩基礎等地質調查成果彙整.....	61
4.4	第四紀斷層調查.....	67
4.4.1	調查方針.....	67
4.4.2	初勘.....	68
4.4.3	精查.....	68
4.5	水庫周邊地滑等調查.....	69
4.6	壩體材料調查.....	71
4.6.1	調查的方針與內容.....	71
4.6.2	混凝土骨材試驗.....	73
4.6.3	透水料（石料）試驗.....	73
4.6.4	半透水料（反濾料、過渡料）試驗.....	74
4.6.5	土質材料（壩心料）試驗.....	74
4.7	臨時設施・替代道路等調查.....	75
4.8	調查資料保存.....	75

第15章 土質地質調查

第1節 總說

1.1 總說

<要點>

本章，係針對河川堤防與堰、水門、涵管等河川構造物（以下稱為「河川構造物」）、及水壩等，於規劃、設計、施工、維持管理等階段，及災害分析與重建之際，為了瞭解必要的地盤狀況，而編訂的土質調查與地質調查技術性事項。

具體而言，新設河川堤防與河川構造物等的規劃・設計・施工階段，或是維持管理、災害分析・重建之際，所進行之土質與地質調查，目的是要瞭解會影響河川堤防與河川構造物安全性的地盤資訊。

水壩的規劃、設計、施工與維持管理等階段的土質與地質調查，目的是因應各不同工程階段，掌握會影響壩基礎、第四紀斷層、水庫周邊地滑、臨時設施、替代道路等安全的地盤資訊。

河川堤防、河川構造物與水壩災害時的土質與地質調查，目的是瞭解災害規模等狀況與原因，並檢討重建方針。

一般而言，土壤與岩石的性質及分布都不均勻，複雜且多變化，因此，使用本基準時，應視現場地形、土質、地質、地下水等條件，以及工程進展階段，彈性調整應對。此外，調查、試驗、量測(Measurement)等，各有多種方法可供實施，但亦各有其使用限制，精準度也不一，資料數據更是雜亂，因此，應先充分瞭解調查目的，然後才選擇適當的調查位置、調查方法、調查密度、調查頻率等，擬定適當的資料處理方法。

關於試驗與量測，應先探討構造物等以往發生異樣的案例與設計方法等，再選定必要的試驗與量測項目。至於測定頻率，則必須綜合評估地形與地質的變化情形、量測值差異程度、分析方法的確實性、量測值對分析結果的影響程度、構造物萬一破損所造成的影響情形等事項後，設定測定頻率。

檢討河川堤防相關技術時，應與各種調查結果，包含本章所述之土質與地質調查在內，彼此間的關係串聯起來。關於這點，在第4章 河道特性調查 第1節 總說 1.4構成河道的河川堤防相關各種調查之相互關係將有說明，可提供河川堤防相關調查參考。

此外，有關砂防、地滑、陡坡等之土質與地質調查，請分別參考第17章 砂防調查、第18章 地滑調查、第19章 陡坡調查等各章節。

1.2 調查順序

<標準>

土質與地質調查的標準調查順序，如下所述。

1) 預備調查

預備調查，係蒐集既有資料並加以整理判釋，以瞭解調查區域的土質與地質概況。

2) 現地踏勘

現地踏勘，係根據預備調查資料，赴現地勘查調查區域的地形、土質與地質等狀況。

3) 細部調查

細部調查，係實施適宜的調查、試驗與量測，以取得必要之土質與地質資料數據。

< 建議 >

1) 預備調查

廣泛蒐集下列既有資料，並加以整理研判。

- a) 土質調查資料
- b) 地質調查資料
- c) 地形圖與航空照片等
- d) 災害（水災、土砂災害、地震、火山噴火等）記錄資料
- e) 水文資料
- f) 其他氣象記錄

關於地形圖與航空照片等，若是要判釋河川周邊舊地形、調查區現況的話，可藉用古地圖、近年來測繪的地形圖、航空照片，或是治水地形分類圖等土地條件圖、地形分類圖等。如果有明治年間（1867-1910）以後測繪的舊版地形圖、1947-48年間美軍拍攝的航空照片等，則更具參考價值。必要時，應重新拍攝航空照片提供地形判釋，或是考慮航空雷射(光達)測量等，供作詳細的地形判釋。

此外，若是為了瞭解河川沿岸土質與地質的問題點，則除了活用既有的鑽探、土質與地質試驗結果外，最好也要調閱災害記錄、漏水履歷或河川修建結果等資料。

2) 現地踏勘

赴現地詳細觀察自然堤防、舊河道、凹陷地、崖錐、扇狀地、地滑與山崩、斷層地形、階地、砂丘、濕地、天井川等地形，以及土質與地質組成、地質構造、湧水等，以瞭解地形與土質、地質狀況，並將該等資料彙整在地形圖上。此外，規劃工程時，不應只比較檢討各種替代方案的工程費用，還得廣泛比較其他事項，必要時仍須進行第2次、第3次的現場踏勘。

3) 細部調查

為了解決土質與地質問題，雖然可進行下列各種調查，但是現場條件比較特殊時，最好還要進行其他的調查。調查工作，有伴隨新規劃工程所需的調查，與既有河川堤防、河川構造物與水壩等所需的調查。

- a) 判斷取土場的材料是否適合當作河川堤防填方，求取夯實等填方施工性參考為目的之調查
- b) 求取河川堤防基礎地盤穩定性與壓密沉陷、強度相關資料為目的之調查
- c) 求取地盤承载力與基樁支承力等，提供河川構造物基礎設計為目的之調查
- d) 評估河川堤防填方、採石場開挖坡面等的穩定性為目的之調查
- e) 研擬土方工計畫所需之建設機具通行能力(Trafficability)等的相關調查
- f) 有關河川堤防、河川構造物下方地盤透水性之調查
- g) 有關河川堤防、河川構造物下方地盤土壤液化可能性之調查
- h) 興建大規模河川構造物、水壩等對周邊地盤影響的調查
- i) 工程剩餘土方處理與工程廢址保育復舊有關之調查
- j) 確認大規模河川構造物、水庫等基礎岩盤有無缺陷之詳細調查

- k) 量測周邊地盤透水係數，以評估壩的保水性的調查
- l) 檢討建壩所需骨材等材料數量、可行性等的調查

第 2 節 河川堤防土質地質調查

<要點>

河川堤防土質與地質調查，係為了確保堤防的安全，而於新設堤防的規劃・設計・施工階段，或是既有堤防維持管理、災害分析、重建之際，進行土質與地質調查，以瞭解所需的地盤資訊；因此，有新設堤防(規劃・設計・施工)、安全性稽查、受災、堤防開挖等，不同時機目的之土質・地質調查。

1) 新設堤防

新設河川堤防，規劃・設計・施工階段的土質與地質調查，目的是要構築安全性高的堤防。

2) 既有河川堤防安全性稽查

既有河川堤防安全性稽查的土質・地質調查，目的是尋找堤防當中難以抵抗洪水時的滲透、地震等外力的弱點位置，並探討其補強方法。

3) 受災

受災的土質與地質調查，目的在瞭解既有河川堤防因豪雨、洪水、地震等受損的原因，並檢討復舊對策。

4) 河川堤防開挖

在新設、更新或撤除箱涵、橋台時，或是改善堤防內排水等工程時、拆除受損的堤防時，為了提升堤防品質，而實施河川堤防開挖土質與地質調查。

<標準>

為了瞭解堤體、基礎地盤的土質與地質狀況，各項調查的標準工作項目如下：

1) 新設堤防

新設堤防工程，在規劃・設計・施工階段，為了瞭解可能影響堤防安全的地盤分布及相關狀況，須進行軟弱地盤調查、土壤液化地盤調查、透水性地盤調查等。此外，對於使用於堤防的土質材料，則要進行材料選定調查。

2) 既有河川堤防安全性稽查時

評估既有河川堤防安全性、檢討補強方法時，為了瞭解可能影響堤防安全的地盤分布及相關狀況，須實施軟弱地盤調查、土壤液化地盤調查、透水性地盤調查等。

3) 受災

進行軟弱地盤調查、土壤液化地盤調查、透水性地盤調查等。

4) 河川堤防開挖

開挖堤防時，須作開挖調查，確認築堤履歷、構成堤防主體的土質及水流通道等狀況。

2.1 新設河川堤防調查

2.1.1 調查方針

<要點>

新設堤防的規劃・設計・施工階段之土質與地質調查，主要是在掌握構築河川堤防時，特別容易造成問題的軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤等，並選用適合築堤的土質材料。只要不是軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤等，造成構築堤防的問題就比較少。

對於軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤等，應注意下列事項:

1) 軟弱地盤

於軟弱地盤上構築河川堤防，由於基礎地盤強度太小，有發生滑動破壞之虞。即使在軟弱地盤上建好堤防，也會因為堤防自重而致軟弱層壓密沉陷；若沉陷量大的話，會導致堤頂高度不足，也就無法維持堤防的功能，甚至於還會造成周邊地盤與構造物變形。

此外，在軟弱地盤上以砂質土築堤，地震會使堤體液化而造成堤防嚴重變狀。壓密沉陷會導致軟弱地盤凹陷變形，堤體下部的密度與拘束力下降（鬆弛），雨水等滲透水更容易滯留在堤體內形成飽和區。

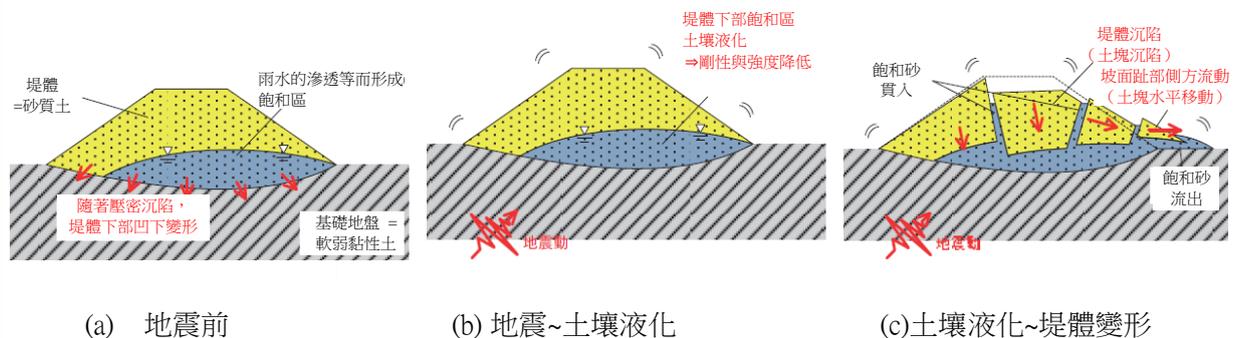


圖15-2-1 堤體土壤液化的破壞機制

2) 地盤土壤液化

在鬆散的砂質地盤上建造河川堤防，地震會使堤防的基礎地盤液化，而致堤防下陷・流動化等大規模變形。有時也會因為地震造成堤防沉陷與變形等損傷，而使河水溢流到河川之外。

3) 透水性地盤

在透水性地盤上建造河川堤防的話，洪水時河川水位異常上升，河水滲透過透水性地盤，使堤體的飽和度增加並擴大浸潤面，會發生堤防邊坡滑動、管湧等，不利於堤防及堤內地。

<標準>

新設河川堤防的規劃・設計・施工階段之調查，標準作業如下:

- 1) 預備調查與現地踏勘
- 2) 細部調查 (第1次)
- 3) 以軟弱地盤調查、土壤液化地盤調查、透水性地盤調查為主的細部調查 (第2次)
- 4) 填方材料的調查

細部調查 (第1次) 結果, 認為調查區有軟弱地盤、土壤液化地盤或透水性地盤存在時, 即應檢討其可能影響情形, 必要時繼續進行細部調查 (第2次)。若預備調查與現地踏勘結果, 即確認堤防附近無軟弱地盤、土壤液化地盤或透水性地盤存在的話, 則可省略細部調查。

此外, 由於土壤液化地盤與透水性地盤的調查內容多所重複, 為了提高調查效率, 最好同步實施。

2.1.2 預備調查與現地踏勘

<要點>

預備調查與現地踏勘, 目的是要瞭解河川堤防預定地的地形、土質、地質等概略狀況。

<標準>

預備調查, 係蒐集堤防附近以的土質與地質調查資料, 並彙整分析。

現地踏勘, 係依據預備調查結果, 赴現地勘查堤頂中央位置及附近地區的地盤表層狀況, 特別是地形、地質、土質、地下水、湧水、土地利用、植物生長狀況等。

<建議>

預備調查當中, 在蒐集以往的土質與地質調查資料之際, 最好也一併蒐集現在的地形圖、航空照片、治水地形分類圖, 及舊版地形圖、早期航空照片、災害記錄、河川整修等工程記錄。

根據預備調查蒐集到的資料, 最好能繪製出概略地質縱斷面圖。在以下所示場所, 其地盤通常多是軟弱地盤、土壤液化地盤或透水性地盤, 因此在調查分析時, 宜多加留意。又, 在軟弱地盤上用砂質土築堤, 則堤體有土壤液化之虞, 應特別注意。

1) 軟弱地盤

- a) 平坦的沼澤地帶、水田地帶
- b) 夾雜在台地、山地的平坦水田區
- c) 自然堤防、海岸、砂丘背後地區
- d) 根據既有土質調查資料等得知為軟弱地盤之處
- e) 已出現大範圍地層下陷與既有構造物下陷等變形之處

2) 土壤液化地盤

- a) 舊河道、舊水域的填土區、新生地、地下水位較淺的沖積低地與台地
- b) 根據既有土質調查資料等, 判斷為粒徑均勻且鬆軟的砂質地盤、地下水位淺且飽和之處
- c) 根據以往災害調查資料的記載, 曾因地震而發生土壤液化之處

3) 透水性地盤

- a) 位於河川附近，且地名為扇狀區、自然堤防區、三角州區等之處
- b) 舊河道上下游端點附近・舊堤防潰決而掏深之處
- c) 洪水時河川水位上升而致堤內地湧水或地下水位上升之處
- d) 根據既有土質調查資料，被認為是透水性地盤（砂礫層、砂質土層等）之處

2.1.3 細部調查（第1次）

<要點>

細部調查（第1次），係於河川堤防預定地附近，進行以縱斷方向為主的地盤調查，以確認有無軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤。

<標準>

為了要判定是否為軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤，可根據預備調查與現地踏勘結果，配合現地狀況，進行地質鑽探與現地土壤探測(Sounding)等調查，而調查過程中取得的試樣，應辦理土質分類試驗，並彙整這些調查與試驗結果。各種調查與試驗，均應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

<建議>

有關**細部**調查（第1次）的地質鑽探、現地土壤探測、土力試驗、調查試驗結果彙整與判釋等，最好依循下列所述施作。

細部調查的各種調查與試驗之調查位置、調查密度與範圍等的決定參考，如表15-2-1所示；但是，地盤組成較複雜時，則應增加調查密度。

1) 地質鑽探及標準貫入試驗

地質鑽探，目的在確認地層組成、採取試樣。鑽探深度應達到承載層地盤（N 值 30 以上的地層，且厚度約 3~5m）。地質鑽探的目的是要判斷地盤是否會液化時，則其鑽探深度應達到可確認為基盤面(S波速300m/s以上的地震工程基盤、或是N 值 25 以上的黏質土層、N 值 50 以上的砂質土層等)之深度。若軟弱土層較厚時，鑽探深度亦應及 25m左右，以達到判釋地盤類別的目的。鑽探過程中，必要時可施作標準貫入試驗。

2) 現地土壤探測（標準貫入試驗除外）

為了補充地質鑽探，針對表層比較軟的土層進行荷蘭錐貫入試驗，或瑞典式貫入試驗等。

3) 土力試驗

利用採集到的試料，實施材料觀察與各地層的土壤粒徑分析、土壤濕潤密度試驗、土粒密度試驗、土壤含水比試驗、土壤液性限度與塑性限度試驗，及其他必要的土質分類試驗。

4) 綜合整理調查結果與判釋

整合地質鑽探結果與貫入試驗結果，沿堤防法線，繪製作垂直方向比例尺1/100 或 1/200之土質縱斷面圖。其次，參考細部調查（第1次）的地質鑽探、現地土壤探測、土質分類試驗等結果，根據以下所述，判定軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤；若判定結果，認為調查區同時存在著前述數種地盤時，則須注意有無遺漏調查項目。

a) 軟弱地盤

構成軟弱地盤的土壤非常多樣化，很難依據土層與土質來區分，但是對於黏質土或有機質土地盤，其細部調查（第1次）結果，顯示為以下的任何一種情形的地盤時，即應檢討可能的影響狀況，必要時，應進行軟弱地盤調查的細部調查（第2次）。有關軟弱地盤調查，參照本章第2節 2.1.4（2）軟弱地盤調查所述辦理。

- ① 標準貫入試驗 $N < 4$ 的地盤
- ② 荷蘭錐貫入值 300kN/m^2 以下的地盤
- ③ 瑞典式貫入試驗， 1kN 以下載重即沉陷的地盤

另外，具下列任何一項標準者，即可判定為軟弱層的基底。

- ① 黏質土且 N 值 $4\sim 6$ 以上的土層
- ② 黏質土的現地土壤探測結果為，每 1m 的半迴轉數超過 100
- ③ 荷蘭錐貫入試驗結果，黏質土 $q_c > 1,000\text{kN/m}^2$ ，砂質土 $q_c > 4,000\sim 6,000\text{kN/m}^2$

b) 土壤液化地盤

土壤液化地盤，其細部調查（第1次）結果，顯示為下列狀況的地盤時，即應檢討可能影響狀況，必要時，還得實施有關土壤液化地盤調查的細部調查（第2次）。有關土壤液化地盤調查，參照本章第2節 2.1.4（3）土壤液化地盤調查所述辦理。

- ① 沖積層的疏鬆砂質土層

c) 透水性地盤

細部調查（第1次）結果，顯示為以下任何一種的地盤時，即應檢討其影響，必要時還得實施透水性地盤調查的細部調查（第2次）。此外，根據地質鑽探及既有土質調查報告，認為地盤夾雜著砂礫或砂層，即可判定為透水性地盤，並進行細部調查（第2次）。有關透水性地盤調查，參照本章第2節 2.1.4（4）透水性地盤調查辦理。

- ① 表層為砂礫或砂的地盤
- ② 不透水性薄表層下面為連續的砂礫層或砂質土層之地盤

表15-2-1 細部調查（第1次與第2次）的調查位置、調查密度參考

調查階段	細部調查 (第1次)	細部調查 (第2次)		
		軟弱地盤調查	土壤液化地盤調查	透水性地盤調查
地質鑽探	頻率			
	沿堤防法線附近 1孔/200m左右	沿堤防法線附近 1孔/100m左右	沿堤防法線附近 1橫斷/100m左右 橫斷方向 堤前坡趾1孔 堤後坡趾1孔	沿堤防法線附近 1橫斷/100m左右 橫斷方向 堤前坡趾1孔 堤後坡趾1孔
	深度			
	直到可確認為承載層為止，通常為計畫堤防高的三倍左右	應到達會影響堤防沉陷及穩定之軟弱層的深度為止	到達地震時可能會液化的土層下端之深度為止；若軟弱層(推測會液化的土層)太厚時，只要到達能判定地盤類別之深度，約25m即可	從基礎地盤上方起，至少鑽探10m以上，直到出現連續的不透水層或20m為止
主要目的				
瞭解土層結構，(是否為軟弱地盤、土壤液化地盤、透水性地盤等)，採取擾動試樣	瞭解土層結構，採取不擾動試樣	瞭解土層結構，採取擾動試樣	瞭解土層組成，採取試樣，實施現場透水試驗	
現地土壤探測 (Sounding)	頻率			
	沿堤防法線附近 1處/50~100m	沿堤防法線附近 1橫斷/20~50m 橫斷方向，依堤防大小、地盤分布情形等 數處/1橫斷	沿堤防法線附近 1橫斷/20~50m 橫斷方向，依堤防大小、地盤分布情形等 數處/1橫斷	沿堤防法線附近 1橫斷/20~50m 橫斷方向 數處/1橫斷
	深度			
	應到達會影響堤防沉陷及穩定之軟弱層的深度為止	到達可能液化土層下端，或可判定地盤類別之土層的深度為止	從基礎地盤上方起，至少鑽探10m以上，直到連續的不透水層或20m為止	
採取試樣	平面的頻率			
	沿堤防法線附近 1處/200m左右	沿堤防法線附近 1處/100m左右 軟弱地盤規模較小時 代表地點1處	沿堤防法線附近 1處/100m左右 土壤液化地盤規模較小時 代表地點1處	沿堤防法線附近 1橫斷/100m左右 橫斷方向 堤前坡趾1處 堤後坡趾1處
	深度方向的頻率			
鑽心試樣 1個以上/1m 土力試驗之試樣 1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個以上/土層	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層 可能發生土壤液化的土層 以劈管取樣器取樣 1個/1m	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層	

調查階段	細部調查 (第1次)	細部調查 (第2次)		
調查種類		軟弱地盤調查	土壤液化地盤調查	透水性地盤調查
現地透水試驗	—	—	—	沿堤防法線附近 1 橫斷/100m左右 橫斷方向 堤前坡趾 1 處 堤內坡趾 1 處 深度方向 1個以上/土層
土力試驗	深度方向的頻率			
	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層 可能發生液化的土層， 進行物性試驗 1個/1m	1個以上/2m 或土層明顯變化時 1個以上/土層

< 相關文獻等 >

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 5) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法.
- 6) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 7) JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法.
- 8) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 9) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 10) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.

2.1.4 細部調査 (第2次)

(1) 概要

< 要點 >

細部調査 (第2次)，係於河川堤防規劃・設計・施工階段，根據預備調查、現地踏勘、細部調查 (第1次) 的結果，認為築堤計畫區之基礎地盤為軟弱地盤、土壤液化地盤、或透水性地盤時，為了進一步瞭解該等地盤的詳細狀況，於縱、橫斷方向詳細地進行地盤調查。

(2) 軟弱地盤調查

< 要點 >

軟弱地盤調查，雖然藉由預備調查與現場踏勘、細部調查 (第1次) 等結果，已知道計畫區地盤內軟弱土層的概況與規模，為了進一步釐清該軟弱土層的土質、強度、壓密特性、延伸範圍與承載層厚度等，仍須進行軟弱地盤調查的細部調查 (第2次)。

< 標準 >

軟弱地盤調查的細部調查（第2次），基本上，係依現地狀況，實施地質鑽探與現地土壤探測(Sounding)，並將取得試樣提供土力試驗，然後彙整這些調查結果。

此外，雖然根據軟弱地盤的調查資料已瞭解地盤狀況，但是對於地盤下陷及其對策，乃至於堤體穩定等有關問題，認為有必要進行持續性調查時，基本上應實施地盤下陷觀測。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

< 建議 >

軟弱地盤調查細部調查（第2次）時，對於地質鑽探、現地土壤探測、土力試驗與結果彙整等，應依下列說明實施。

各項調查與試驗等的調查位置與調查密度、範圍，參照表 15-2-1；若地盤組成較複雜時，可增加調查密度。

1) 地質鑽探與標準貫入試驗・取樣

地質鑽探的目的，是要確認地層組成，及取得較沒擾動的試樣。地質鑽探的深度，參考細部調查（第1次）結果，應達到可能滑動或下陷而影響堤防穩定的軟弱層深度為止。地質鑽探過程中，必要時可施作標準貫入試驗。

採取試樣，應依以下方法實施：

a) 取樣方法

軟弱的黏質土地盤，原則上，以固定活塞式薄管取樣器，採取較少擾動的試樣。連續採取軟弱黏質土試樣時，可重覆實施上述取樣方法。

b) 取樣位置

採取試樣的位置，係依軟弱地盤的規模、不同土層的均一性與含水狀態等決定之。地形上認為是同一個軟弱地盤區域的範圍內，至少要超過兩處採樣地點。

c) 取樣深度

若土層組成複雜、各土層不易在1個以上不同處採取試樣時，可考慮各土層的類似性，改變採樣間隔。又，一般對於軟弱黏質土，其 N 值 $<4\sim5$ 者，為可採取試樣的硬度。

2) 現地土壤探測（標準貫入試驗除外）

現地土壤探測，目的在補齊地質鑽探的不足。對地表淺部比較軟的土層，進行現地土壤探測時，以荷蘭錐貫入試驗、瑞典式貫入試驗等為主。在較厚的砂層或夾雜砂層的地方，可施作貫入能力較大的動態貫入試驗。另外，黏質土層夾雜砂層或砂質土層，且地盤排水有問題者，實施能測定圓錐貫入抵抗、貫入時發生的孔隙水壓、摩擦抵抗等的電氣式靜態圓錐貫入試驗，成效較佳。

3) 土力試驗

土力試驗的目的，是利用取得之試樣進行力學試驗，以定量地掌握現地軟弱地盤的特性。視土層類似性、各土層均質性、含水狀況等狀態，亦可以改變試驗項目或試驗間隔。

a) 黏質土試驗項目

- ① 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線、有效徑 D_{10} 、均勻係數 U_c 、曲率係數 U'_c 等
- ② 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- ③ 土粒單位重試驗：土粒單位重 ρ_s 等
- ④ 土壤單位重試驗：濕土單位重 ρ_t 、乾土單位重 ρ_d 、孔隙比 e 等
- ⑤ 阿太堡試驗：液性限度 W_L 、塑性限度 W_P 、塑性指數 I_P 等
- ⑥ 土壤單軸壓縮試驗：不排水剪力強度 s_u 、靈敏度 S 等
- ⑦ 土壤壓密試驗：壓縮曲線、壓密屈伏應力 p_c 、壓縮指數 C_c 、體積壓縮指數 m_v 、壓密係數 c_v 等
- ⑧ 土壤三軸壓縮試驗：摩擦角 ϕ' 、 ϕ'_u 、 ϕ_{cu} 、 ϕ_u 、黏著力 c' 、 c_u 、 c_{cu} 、 c_d
- ⑨ 土壤透水試驗：滲透係數 k
- ⑩ 其他試驗

b) 有機質土（泥炭土等不易取得不擾動試樣的情況）試驗項目

- ① 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- ② 土粒密度試驗：土粒密度 ρ_s 等
- ③ 土壤壓密試驗：壓縮曲線、壓密屈伏應力 p_c 、壓縮指數 C_c 、體積壓縮指數 m_v 、壓密係數 c_v 等
- ④ 土壤灼熱減量試驗：灼熱減量 L_i
- ⑤ 其他試驗

4) 調查結果彙整

彙整地質鑽探、現地土壤探測、室內試驗等結果，繪製垂直比例尺1/100或1/200土質縱斷面圖，可讓人瞭解沿堤防附近軟弱地盤的土質、土層厚度、深度方向的強度變化等；橫斷方向也可以繪製土質橫斷面圖。土力試驗結果，可將深度方向的含水比、土粒單位重、濕土單位重、孔隙比、不排水剪力強度、壓密屈服應力、壓密係數、黏著力等的變化，整理成圖表，清楚呈現出來。

5) 地盤下陷觀測

在地盤下陷地區觀測下陷狀況，有利用設在堤防法線附近的水準點進行水準測量、利用沉陷計觀測沉陷量、量測觀測井地下水水位等方式，觀測方法如下所述。若地盤下陷為含水層的位置水頭下降所致時，則在下陷觀測的同時，即可瞭解其變化情形。有關地下水調查，可參照第2章 水文·水理觀測 第6節 地下水觀測。

a) 測定點的配置

測定點配置，如下所述：

水準點：堤防上 1 km 間隔為標準

沉陷計：各河川推測下陷量最大之處

觀測井：除了與沉陷計相同地點之外，也可依地盤狀況，於可量測到與下陷有關之含水層地下水水位的地點

若地下水含水層是由2個以上獨立地層組成時，則應設置可分別觀測各層地下水水位(孔隙水壓)的觀測井。在有地層下陷問題的地區，其水準點的間隔可縮短為200m左右，並在堤後地區等，也設置水準點。此外，對於流域面積較大的河川或地形條件複雜者，可考慮設置數部沉陷計。

b) 觀測設施構造

觀測設施構造如下。

水準點：在堤頂附近，埋植足夠深的石塊或混凝土柱，其上部安裝黃銅製標點。

沉陷計：使用雙層管式基準鐵管，鐵管下端須深達無地盤下陷的地層。沉陷計配置著自記記錄器，可自動記錄下陷量。

觀測井：配置浮筒與自記記錄器，能自動量測地下水位的觀測井。

c) 觀測頻率

觀測頻率，係依事先計算出的沉陷量，設定觀測時間間隔。水準測量，通常 1~3 個月，定期測量一次；剛完工的水準觀測點，其下陷相對量會比較大，應較密集觀測。沉陷計與觀測井均有自記記錄裝置，可分別連續觀測下陷量與地下水位。

設置場所應符合以下條件：

- ① 大致 10m 四方以上的開闊地面，周遭的局部氣流變化較小。
- ② 無淹水之虞
- ③ 容易進行觀測與巡迴檢查

< 相關文獻等 >

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JGS 1221 固定式ピストン式シンウォールサンプラー.
- 5) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 6) IS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験.
- 7) JGS 1435 電気式静的コーン貫入試験.
- 8) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 9) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 10) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 11) JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法.
- 12) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 13) JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法.
- 14) JIS A 1217 土の段階載荷による圧密試験方法.
- 15) JGS 0520~0524 土の三軸圧縮試験.
- 16) JGS 0560,0561 土の一面せん断試験.
- 17) JIS A 1218 土の透水試験方法.
- 18) JIS A 1217, 1227 土の圧密試験.
- 19) JIS A 1226 土の強熱減量試験方法..

(3) 土壤液化調查

<要點>

土壤液化調查，根據細部調查（第1次）結果，認為地盤內具有某規模的可能液化土層，為了進一步瞭解該土層的土質、厚度、液化阻抗等，乃進行第2次細部調查。

<標準>

土壤液化調查的細部調查（第2次），係依現地狀況，實施地質鑽探與縣地土壤探測試驗之外，還要利用所取得試樣進行土力試驗，並彙整這些調查與試驗結果。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

<建議>

有關土壤液化地盤細部調查（第2次）的地質鑽探、探測試驗、土質試驗、結果彙整等，最好依以下所述辦理。各項調查與試驗的調查位置、密度與範圍，如表 15-2-1 所示；但地層構造複雜時，應增加調查密度。

1) 地質鑽探與標準貫入試驗・採集試樣

地質鑽探的目的，是要確認地層組成，及採取試樣。地質鑽探的深度，參考細部調查（第1次）結果，應達到可能發生土壤液化而致災的土層為止。地質鑽探過程中，必要時應施作標準貫入試驗。

採取試樣，應依以下方法實施：

a) 取樣方法

標準貫入試驗所取得之試樣，可供土壤粒徑分析等之物性試驗。在為了深入探討有關土壤液化動態解析等，而需進行土壤反覆不排水三軸試驗時，由於薄管取樣器常不易取得不擾動試樣，因此可考慮冷凍取樣等可取得不擾動試樣的工法。

b) 取樣位置

在堤防橫斷方向作詳細檢討時，可於堤防兩側邊坡趾部各一處進行採樣。

c) 取樣深度

對於可能發生土壤液化的土層，為了瞭解其細粒成分含有率 FC ，取樣深度為每 1.0m 採集 1 個試樣。此乃因以簡易式判定土壤液化，其結果會隨 N 值和細粒成分含有率 FC 有很大的變化、粒徑分析結果差異大等。

2) 現地土壤探測（標準貫入試驗除外）

可實施瑞典式探測試驗等，補充地質鑽探調查之不足。

3) 土力試驗

土力試驗的目的，是利用取得之試樣進行力學試驗，以定量地掌握現地液化地盤的特性。在可能發生土壤液化的土層，應在深度方向每 1.0m 採取1個試樣，實施粒徑分析。

a) 砂質土・礫質土試驗項目

- ① 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線、50%粒徑 D_{50} 、有效徑 D_{10} 、細粒成分含有率FC等
- ② 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- ③ 土粒單位重試驗：土粒單位重 ρ_s 等
- ④ 土壤單位重試驗：濕土單位重 ρ_t 、乾土單位重 ρ_d 、孔隙比 e 等
- ⑤ 阿太堡試驗：液性限度 W_L 、塑性限度 W_P 、塑性指數 I_P 等

b) 黏質土試驗項目

- ① 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線、有效徑 D_{10} 、均勻係數 U_c 、曲率係數 $U_{c'}$ 等
- ② 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- ③ 土粒單位重試驗：土粒單位重 ρ_s 等
- ④ 土壤單位重試驗：濕土單位重 ρ_t 、乾土單位重 ρ_d 、孔隙比 e 等
- ⑤ 阿太堡試驗：液性限度 W_L 、塑性限度 W_P 、塑性指數 I_P 等
- ⑥ 土壤單軸壓縮試驗：不排水剪力強度 s_u 、靈敏度 S_t 等

又，進行土壤液化動態分析時，必要時應利用冷凍取樣等工法，於土壤液化土層採取較少擾動之試樣，進行土力試驗。

- ⑦ 土壤反覆不排水三軸試驗：土壤液化強度 R 等

4) 調查結果彙整

彙整地質鑽探、現地土壤探測、室內試驗等結果，繪製垂直比例尺1/100或1/200土質縱斷面圖，可讓人瞭解沿堤防中線附近液化地盤的土質、土層厚度、深度方向的強度變化等；橫斷方向也可以繪製土質橫斷面圖。土力試驗結果，可將深度方向的含水比、土粒單位重、濕土單位重、孔隙比、細粒成分含有率等的變化，整理成圖表，清楚地呈現出來。

<相關文獻等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法.
- 5) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 6) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 7) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 8) JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法.
- 9) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 10) JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法.
- 11) JGS 0541 土の繰返し非排水三軸試験.
- 12) JIS A 1218 土の透水試験方法.
- 13) JIS A 1217, 1227 土の圧密試験.
- 14) JIS A 1226 土の強熱減量試験方法.

(4) 透水性地層調査

<要點>

透水性地盤調査，係於細部調査（第1次）大概得知透水土層概況、規模後，為了進一步瞭解其土質、厚度、延伸範圍、透水性等，乃進行細部調査（第2次）。

<標準>

透水性地盤調查的細部調查（第2次），係依現地狀況，實施地質鑽探與現地土壤探測試驗之外，還要利用所取得試樣進行土力試驗，並彙整這些調查與試驗結果。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

<建議>

有關透水性地盤細部調查（第2次）的地質鑽探、探測試驗、土質試驗、結果彙整等，最好依以下所述辦理。各項調查與試驗的調查位置、密度與範圍，如表 15-2-1 所示；但地層構造複雜時，應增加調查密度。

1) 地質鑽探與標準貫入試驗・採集試樣

地質鑽探的目的，是要確認地層組成，及取得擾動試樣。地質鑽探過程中，必要時應施作標準貫入試驗。此外，還可利用地質鑽探的鑽孔，實施現地透水試驗。

試樣的採集，如下所述進行之。採集試樣，目的是在評估土層的透水性，利用擾動試料掌握整體狀況。若為了更詳細的試驗，有時也會採集較無擾動的試樣。

a) 取樣方法

通常是地質鑽探中，實施標準貫入試驗的同時採取擾動試樣。必要時，可利用針對砂質土的特殊採樣器，採取擾動較少的試樣。

b) 取樣位置

堤防橫斷方向兩側邊坡趾部各 1 處。

c) 取樣深度

採集試樣之最大深度，最好貫穿透水性土層到達不透水性土層為止。若是透水層很厚的話，可從地面往下最深到 10m~15m；但是土層構造複雜時，可考慮針對各層的類似性，改變採集間隔。

2) 現地土壤探測（標準貫入試驗除外）・現地試驗

現地土壤探測的目的，是補齊地質鑽探的不足，確認地層構造與採取試樣。進行現地土壤探測時，依現地狀況與目的，進行荷蘭錐貫入試驗、瑞典式貫入試驗等。

關於現地試驗，也是配合現地狀況，選定適當的試驗位置與試驗密度，以掌握現地浸透水狀況。利用單孔進行現地透水試驗時，基本上，構成透水性地盤的每一個土層，都應進行試驗。

必要時，可利用細部調查的地質鑽探孔、隣進民家水井、新設觀測井等，進行地下水變動調查。實施之際，應選定幾個能畫出地下水等水位線的觀測地點，進行調查。

3) 土力試驗

利用取得之試樣提供土力試驗，以定量地掌握現地透水性地盤的特性。但是基於土層的均勻性及樣品數量的考量，亦可配合土質狀態，改變試驗項目與試驗間隔。關於土壤透水試驗，應將試樣夯實到接近現場土壤密度後，再進行試驗。

- a) 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線、有效徑 D_{20} 或 D_{10} 、均等係數 U_c 、曲率係數 U_c 等
- b) 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- c) 土粒單位重試驗：土粒密度 ρ_s 等
- d) 土壤單位重試驗：濕土單位重 ρ_t 、乾土單位重 ρ_d 、間隙比 e 等
- e) 土壤透水試驗：透水係數 k
- f) 其他試驗

4) 結果綜合整理

利用地質鑽探、現地土壤探測、室內試驗結果，依透水性地盤在沿堤防法線方向的位置、層厚、延伸、透水性等狀況，繪製成垂直方向比例尺1/100 或 1/200 左右的土質縱斷面圖；同樣地，橫斷方向也可製作土質橫斷面圖。此外，土力試驗結果可整理成圖表，清楚地顯示出含水比、土粒單位重、濕土單位重、孔隙比、透水係數、細粒成分比率等，在深度方向的變化情形。地下水變動調查結果，應將其觀測地點與水頭記入河川平面圖（1/1,000~1/5,000 左右、標準 1/2,500）內，並求出地下水的等水位線。各觀測地點的水位時間曲線也應一併整理、圖示。

<相關文獻等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 5) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法.
- 6) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 7) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 8) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 9) JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法.
- 10) JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法.
- 11) JIS A 1217 土の段階載荷による圧密試験方法.
- 12) JGS 0520~0524 土の三軸圧縮試験.
- 13) JGS 0560,0561 土の一面せん断試験.
- 14) JIS A 1218 土の透水試験方法.
- 15) JIS A 1217, 1227 土の圧密試験.
- 16) JIS A 1226 土の強熱減量試験方法.

2・1・5 填方材料調査

<要點>

為了避免在降雨或洪水時受滲透水影響，或地震時的堤防液化影響，而致河川堤防變形，應選定粒徑分布較寬廣的良質土質材料，並於施工之際以適當含水比，充分夯實。

< 標準 >

選定河川堤防堤體材料之土質與地質調查，標準作法如下：

- 1) 預備調查及現地踏勘
- 2) 細部調查

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

< 建議 >

實施預備調查與現地踏勘、細部調查，應參考以下所述實施。

基本上，強度低的黏質土、高透水性的砂或砂質土・礫質土或軟岩等，通常是不適於作為河川堤防堤體材料，但是在不得不使用該等材料時，則應進行特別調查。

1) 預備調查與現地踏勘

預備調查與現地踏勘地目的，是為了概略瞭解取土場預定地及堤體材料的地質與土質狀況。

進行預備調查時，除了參照本章第 1 節 1.2 "調查順序 1) 預備調查"所述之外，應著重在取土場預定地附近地形、地質與土質相關資料的蒐集與分析，供現地踏勘之參考。

現地踏勘時，應調查取土場預定地的露頭，並實施輕便式圓錐貫入試驗等簡單的現地試驗，作為選定河川堤防材料之參考資料。

2) 細部調查

細部調查的目的，主要為瞭解材料的品質、施工機具的施工性、夯實的難易等。依取土場預定地的現地狀況，進行現地土壤探測、現地試驗、採集試樣等，並就採集之試樣實施土力試驗，最後彙整所有調查與試驗結果。

此外，為了打造高品質河川堤防，必要時也應實施試驗性施工，及適當的施工管理相關現地試驗。

a) 現地土壤探測・現地試驗・採集試樣

現地土壤探測的目的，在於掌握取土場預定地之土質與地質狀況。取土場預定地若是土壤時，可進行輕便式圓錐貫入試驗；若是軟岩時，則實施震測等物理探測。此外，必要時，可以砂錐法實施土壤密度試驗，以瞭解現地密度。

以螺旋式探勘(Auger boring)、機械鑽探、手掘等方法，針對取土場預定地的每個土層，採取一個以上的試樣。即便是均勻的土層，若挖掘範圍很廣時，仍須每500 m²一處的間隔取樣。

b) 土力試驗

為了定量掌握取土場預定地之土質特性，乃以採取到的試樣進行土力試驗。試驗項目如下：

- ① 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線，有效徑度 D_{10} ，均等係數 U_c ，曲率係數 U'_c 等
- ② 土含水比試驗：含水比 w 等
- ③ 土粒單位重試驗；土粒單位重 ρ_s 等
- ④ 阿太堡試驗：液性限度 W_L 、塑性限度 W_P 、塑性指數 IP 等
- ⑤ 夯實土壤壓密試驗：最適含水比 w_{opt} 、最大乾燥密度 ρ_{max}
- ⑥ 夯實土壤的圓錐指數試驗：圓錐指數(Cone index) q_c
- ⑦ 其他試驗

3) 結果綜合整理

整合預備調查、現地踏勘、細部調查等之結果，繪製精度足以計算取土場預定地土方量的地形圖。

此外，依據現地土壤探測、現地試驗、土力試驗等結果，製作垂直方向比例尺1/100 或 1/200 左右的土質橫斷面圖。然後，依據不同土質，分別整理其土力試驗與現地試驗結果。

4) 試驗性施工

為了找出能滿足所需夯實度的滾壓次數，必要時應實施試驗性施工。試驗性施工的規模，視現場條件決定。試驗性施工，於滾壓次數 $N = 2、4、6、8、10$ 時，應實施砂置換法土壤單位重試驗、RI 計器之土壤單位重試驗、輕便式圓錐貫入試驗、測定表面沉陷量等。此外，試驗點數如圖15-2-2、表15-2-2所示。

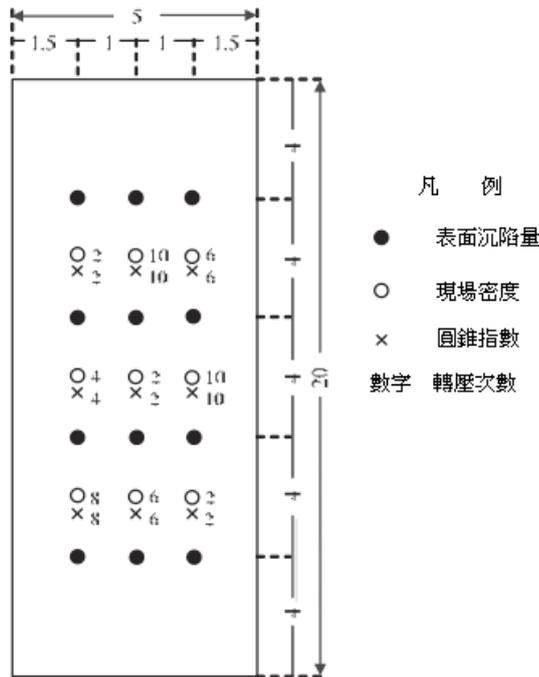


圖15-2-2 試驗性施工之試驗項目與測點配置圖舉例

表15-2-2 試驗性施工的一般性試驗項目與測定頻率

試驗填方尺寸	表面沉陷量	現場密度	圓錐指數
	測定點數目	測定點數目	測定點數目
5m×20m	12	9	9

5) 施工管理

為了確保施工後的堤體品質，乃進行施工管理。施工管理時，應實施砂錐法土壤密度試驗、RI計器之土壤單位重試驗等。

<相關文獻等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JGS 1431 ポータブルコーン貫入試験.
- 4) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 5) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 6) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 7) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 8) JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験方法.
- 9) JGS A 0716 締固めた土のコーン指数試験.
- 10) JIS A 1214 砂置換法による土の密度試験方法.
- 11) JGS 1614 RI計器による土の密度試験.

2.2 既有河川堤防安全性稽查調查

2.2.1 調查方針

<要 點>

既有河川堤防安全性稽查的土質・地質調查，目的是尋找堤防當中難以抵抗洪水時的滲透、地震等外力的弱點位置，並探討其補強方法。

河川堤防乃以往長期中依序構築而成的構造物，故堤體土層組成複雜且強度不均一。因此，為了掌握尚未顯現出來的弱點位置，須先瞭解堤體土壤組成與基礎地盤之土質・地質等。此外，為了綜合評估堤防的安全性，也須注意有無高灘地、堤內地盤高、漏水等災情履歷、有無既有的對策工程、構造物及其周邊變形等。

<標 準>

為了取得適當且充分的資料，依河川堤防整備狀況及目的，實施以下之調查。

- 1) 預備調查與現地踏勘
- 2) 細部調查

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

2.2.2 預備調查與現地踏勘

<要 點>

預備調查與現地踏勘，目的在概括掌握既有河川堤防所在地區狀況，並瞭解其地形、土質、地質等特性。

<標 準>

預備調查時，除了蒐集沿著既有河川堤防附近以往的土質與地質調查資料外，基本上還應蒐集舊地形、堤防的築堤與災害履歷、有無高灘地及既有對策工程設施、構造物及其周邊變形、河道特性與堤內地盤高度（洪水氾濫區域）等資料。

現地踏勘，係在堤防位置及附近一帶，依本章第2節2.1.2預備調查及現地踏勘所述進行調查，並確認預備調查之結果。

根據預備調查及現地踏勘結果，將地形與地盤條件、堤防構造、災情履歷、既設對策工、河道特性與洪水氾濫區域等相同或類似者劃分為一個區間，而使整個堤防由一連串區間所構成。

2.2.3 細部調查

<要 點>

細部調查，目的在選定堤防面對洪水時的滲流與地震而出現弱點的代表性斷面，並瞭解該代表性斷面的堤體土構造與基礎地盤狀況。

重要的是，利用依據「河川堤防設計指針」、「河川構造物の耐震性能照査指針」等所調查的結果，研擬適當的調查計畫。

< 標準 >

細部調查，係沿堤防縱斷方向進行調查，目的是要將一連串區間，細分出堤防功能與安全性同等程度的區間，並就細分出來的區間，選定代表性斷面，然後於該代表性斷面實施堤防橫斷方向調查。

細部調查的堤防縱斷方向及橫斷方向之土質調查，基本上應充分掌握調查目的，就現地狀況適當地選定調查位置、調查方法、調查密度等，進行地質鑽探與現地土壤探測，並將採集的試樣提供土力試驗，最後，綜合整理各調查與試驗結果，繪製成土質縱・橫斷面圖。

< 建議 >

細部調查的堤防縱斷方向與堤防橫斷方向之土質調查位置與密度，隨現地狀況、堤防規模、堤體與基礎地盤土質組成複雜度等而異，大致情況如表 15-2-3 所示。

若依據堤防的築堤、災害履歷、過去的鑽探資料等，得知堤體及基礎地盤土質組成複雜時，應追加地質鑽探、現地土壤探測等調查。

堤體液化等特性的地盤調查，不但要瞭解可能液化的砂質土位置與強度，還要精確掌握地下水位，因此，鑽探時，在未達地下水位之前，最好是乾鑽(無水鑽探)。

透水特性與液化特性調查中，因為有許多調查試驗項目重複，所以該兩種調查最好同步實施，以提升調查效率。

表15-2-3 細部調查的調查位置與密度參考

調查階段	細部調查 (堤防縱斷方向)	細部調查 (堤防橫斷方向)	
		瞭解土壤液化特性的 地盤調查	瞭解透水特性的 地盤調查
地質鑽探	頻 率		
	為了掌握透水特性的調查， 沿堤防附近 1處/1~2km 左右	一連串區間中，選取對液化條件較嚴苛的地點 橫斷方向	一連串區間中，選取對透水條件較嚴苛的地點 橫斷方向
	為了掌握液化特性的調查， 沿堤防附近 1處/4~500m 左右	堤前坡趾附近 1 處 堤頂 1 處 堤後坡趾附近 1 處	堤前坡趾附近 1 處 堤頂 1 處 堤後坡趾附近 1 處
	深 度		
	為了掌握液化特性 直到能確認承載層深度止 為了掌握透水特性 自基礎地盤上往下約10m深	到達地震時可能液化的土層之下端之深度，若軟弱層(可能液化的土層)太厚時，則到達能判定地盤類別之深度25m左右即可	自基礎地盤上最少鑽探10m深以上，到達連續的不透水層或20m深為止
	主要目的		
	瞭解土層組成(確認為可能液化地盤、透水性地盤)，採集擾動試樣。	瞭解土層組成、地下水位，採集擾動試樣。	瞭解土層組成，採集試樣，實施現地透水試驗。
現地土壤探測 (Sounding)	頻 率		
	沿堤頂中央附近 1處/50~100m	橫斷方向，視堤防大小或地盤左右延伸情形， 數處/1 橫斷面	橫斷方向，視堤防大小或地盤左右延伸情形， 數處/1 橫斷面
	深 度		
	到達可能液化土層的下端，或可判定地盤種類之土層為止		
採集試樣	平面的頻率		
	沿堤頂中央附近 1處/200m左右	橫斷方向 堤前坡趾附近 1 處 堤頂 1 處 堤後坡趾附近 1 處	橫斷方向 堤前坡趾附近 1 處 堤頂 1 處 堤後坡趾附近 1 處
	深度方向的頻率		
	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層 於可能液化土層 1個以上/1m	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層
現地透水試驗	—	—	橫斷方向 堤前邊坡中央附近 1 處 堤後邊坡中央附近 1 處 深度方向 1處以上/土層

調查階段	細部調查 (堤防縱斷方向)	細部調查 (堤防橫斷方向)	
		瞭解液狀化特性的 地盤調查	瞭解透水特性的 地盤調查
土力試驗	深度方向的頻率		
	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層 可能液化土層實施物性試驗 1個以上/1m	1個以上/2m 或土層變化明顯時 1個/土層

< 相關通知等 >

- 1) 地盤工学会：地盤調查の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 5) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法.
- 6) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 7) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 8) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 9) JIS A 1225 土の湿潤密度試験方法.
- 10) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 11) JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法.
- 12) JIS A 1218 土の透水試験方法.
- 13) JGS 1314 単孔を利用した透水試験.
- 14) JGS 0541 土の繰返し非排水三軸試験.
- 15) 河川堤防設計指針，平成 14 年 7 月 12 日，国河治第 87 号，国土交通省河川局治水課長，
終改正：平成 19 年 3 月 23 日国河治第 192 号.
- 16) 河川構造物の耐震性能照査指針，平成 24 年 2 月 3 日，国水治第 118 号，国土交通省水管理・
国土保全局治水課長通達.

< 參考資料 >

既有河川堤防安全性稽查調查，請參考下列資料：

- 1) (財)国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，2002.

2.3 河川堤防受災調査

< 要點 >

因應河川堤防受災而實施的土質與地質調查，目的是要蒐集既有的調查資料及獲取適當且充分之資料，以瞭解豪雨、洪水、地震等致災原因，並檢討復建對策。

重要的是，利用依據「河川堤防設計指針」、「河川構造物の耐震性能照査指針」等所調查的結果，研擬適當的調查計畫。

< 標準 >

以受災堤體、基礎地盤及其周邊等為對象，實施以下調查。

1) 預備調查及現地踏勘

2) 細部調查

細部調查，應依災害狀況、推測的災害發生機制等不同狀況，進行適當的調查與分析。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

< 建議 >

預備調查時，對於受災前後的河水位及降雨狀況、堤防各部位細節、築堤與受災履歷、堤體與基礎地盤的土質、有無高灘地、堤內地盤高、舊地形、有無既有對策工程、構造物與周邊的變形、堤防開挖調查結果等事項，應詳加調查。此外，在地震方面，則應瞭解震央、規模等的地震細節，及受災地點附近的震度與加速度等。

現地踏勘時，除了確認受災規模與形態、受災後斷面形狀、發生過程、周邊地盤與構造物變形狀況等之外，還要對於受災當時的狀況、以往的受災等事項，進行訪談調查。

開挖堤防時，最好根據本章第2節2.4 “河川堤防開挖時的調查”所示，進行土質調查。

< 舉例 >

1) 代表性的調查與分析

a) 土質調查

考量受災狀況、推測之災害機制，參考本章 第 2 節“河川堤防土質地質調查”，選定適當的調查位置、調查方法、調查密度等，實施地質鑽探、現地土壤探測(Sounding)等，並將取得之試樣，提供土力試驗。

譬如，在滲流導致堤防受損情況，若是堤防滑動的話，則應針對堤體進行土質調查；若是基礎地盤的管湧(Piping)而發生破壞的話，則應針對基礎地盤進行土質調查。堤防在軟弱地盤發生沉陷或地震而受損時，則應針對基礎地盤等進行土質調查，以掌握軟弱層與液化土層的狀況。

b) 滲流分析・圓弧形滑動分析

滲流分析，目的是檢討堤體或堤防地盤的漏水問題，除了可驗證既有堤防的漏水發生機制，也能確認對策工法的效果。有限元素法（FEM）常用於斷面二維飽和・不飽和非定流分析，但是對於迂迴繞過板樁與堤堰的滲流，必要時還得一併實施平面二維或準三維分析。分析之際，對於堤體與基礎地盤土質構造模式、土質物性值、初期地下水位、初期飽和度、堤內地地下水水位遠方邊界條件、降雨與河川水位的外力等條件的設定，尤須慎重，由於該等條件對分析結果的影響相當大。

c) 壓密沉陷分析

壓密沉陷分析，目的是用來檢討堤防變形與沉陷量，不僅能驗證既有堤防目前的沉陷量，還能預測日後的沉陷量，及確認對策工效果。堤防沉陷量分析，有一維分析法及有限要素法（FEM）的二維分析法兩種分法，若要詳細檢討或一併探討堤防變狀時，可用FEM進行分析。此外，分析時，應適當地設定堤體及基礎地盤土質構造模式、初期孔隙比等的土質物性參數，因為該等事項深切地影響分析結果。

d) 地震時地盤變形分析

地震時地盤變形分析，係檢討堤防基礎地盤液化及堤防變形量的手段，除了能驗證既有堤防在地震後的變形量，也可確認對策工效果。堤防變形量可用有限元素法(FEM)等，進行靜態分析與動態分析。分析所需的許多參數，都可藉由各種土力試驗取得，雖然動態分析法可分析較複雜的現象，一般而言，以較少的地盤參數而能獲得某程度分析精度的靜態分析法，即可分析堤防變形量。不管是何種分析方法，特別是基礎地盤液化層很淺，或堤體本身有液化之虞者，地質鑽探時，在未達地下水位之前，應實施乾鑽等，以確實地掌握地下水位。

此外，目的為調查受災原因的地盤變形分析，最好使用冷凍取樣等方法，採取擾動較少的試樣，希望藉由土力試驗，確實地瞭解對象土層的液化強度。

2) 河川堤防主要受災型態及其機制

規劃河川堤防受災調查時，可先參考以下 a) ~ i) 所示河川堤防主要災害型態及其機制。

a) 滲流導致堤防受災

① 雨水、流水滲透降低堤防強度而致潰堤

流水與雨水滲入堤體，使堤體內滲流線上升，增加堤體重量，並降低堤體土壤抗剪強度，導致堤體無法維持穩定而潰堤。

② 管湧(Piping)·砂湧(Boiling)

河川水位上升而與堤內水位的水位差變大時，河川流水即可滲流入堤體或基礎地盤。當此滲流超過土粒臨界流速時，就會發生地下侵蝕(滲流破壞(Seepage failure))，並在地盤內形成空洞(管湧)；若該現象持續擴大的話，即可使堤防塌陷，進而潰堤。砂湧則是滲流壓力超過滲流上部的地盤荷重，使土砂與水噴出地表，進而潰堤。

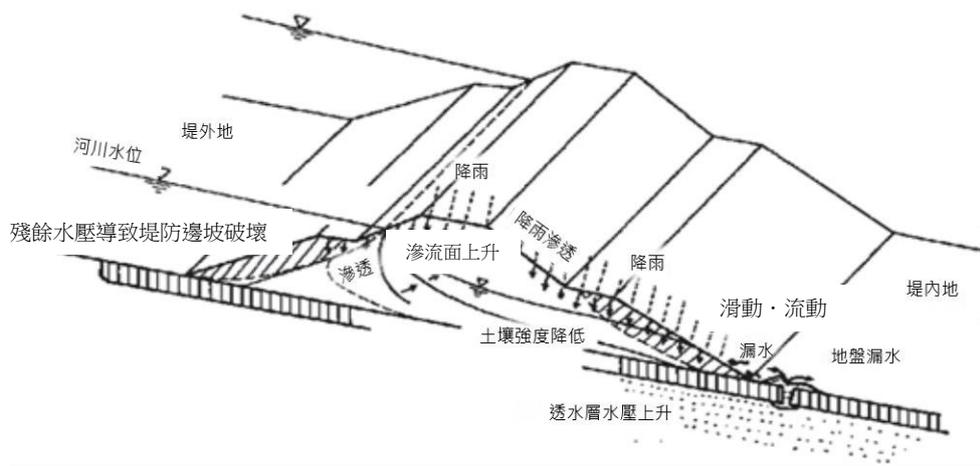


圖15-2-3 降雨與河川水往堤防滲流與漏水

b) 冲刷導致堤防受損

① 堤防遭受直接侵蝕

河道內流水直接侵蝕堤防，而致潰堤。

此外，河道水位上升前的降雨先造成蝕溝侵蝕，爾後，河道水位上升，河水破壞堤防。

② 高灘地側向侵蝕導致潰堤

從低水槽河岸掏刷，經過高灘地的側向侵蝕，而至堤防潰決。

c) 溢流水導致堤防破壞

河水溢流會掏刷堤前坡趾及堤後邊坡坡頂，進一步形成堤後邊坡坡面侵蝕，造成潰堤。

d) 構造物周邊的堤防災害

① 箱涵周邊空洞化導致堤防破壞

箱涵、涵管等的周邊發生空洞而形成滲透水通道，流水容易沿該通道滲流，造成大量漏水，導致潰堤。

② 土砂自涵管接縫、裂縫等流失而致堤防受損

涵管變位導致伸縮縫止水板破斷或管體破裂，於是受管內流水吸吮，致使堤體內形成空洞而塌陷，破壞堤防。

e) 地震使堤防受損

地震使堤防受損，多半是堤體基礎地盤的疏鬆砂層液化，造成堤體下陷。此外，由疏鬆砂質土所構成的堤防，若其基礎地盤是軟弱黏質土層時，則地震會使局部的堤體土液化。

f) 水位遽降致使堤前邊坡崩塌

流水形成高水位並持續了一段時間後，突然水位遽降，堤體內滲流水的殘餘水壓也可能誘發堤前邊坡崩塌。

g) 坡腹填方造成堤防龜裂

堤防為了拓寬或兼作道路，而於其側面邊坡的坡腰填方，會使填方基礎地盤沉陷，進而影響到堤防頂部等，出現縱斷方向的裂隙。

h) 軟弱地盤上的堤防沉陷

堤防的基礎地盤土質，若為塑性指數非常高的高含水比土壤時，可能會在一夜之間即發生堤防沉陷。此外，軟弱基礎地盤上的堤防，在縱斷方向常出現凹凸不平的現象。

i) 具有落差的河道橫斷構造物周邊之堤防災害

洪水時，在固定堰壩等之上下游兩側的水流會有落差，衝往上游側高灘地的洪水流（迂回流）會掏刷高灘地，而在下游側，因為具有落差，衝落的河水會掏刷河岸，進而可能淘空堤腳，使堤防受損。

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.

<參考資料>

有關河川堤防受災時的調查，可參考下列資料。

- 1) 河川堤防設計指針，平成 14 年 7 月 12 日，国河治第 87 号，国土交通省河川局治水課長，最終改正：平成 19 年 3 月 23 日国河治第 192 号.
- 2) 河川構造物の耐震性能照査指針，平成 24 年 2 月 3 日，国水治第 118 号，国土交通省水管理・国土保全局治水課長通達.
- 3) (財)国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，2002.
- 4) 日本道路協会：道路土工指針 軟弱地盤対策工指針，1986.
- 5) 河川環境管理財団：堤防維持管理技術 河川堤防の現地における目視点検の視点，2010.

2.4 河川堤防開挖調査

<要 點>

河川堤防開挖時的調查，目的是瞭解並確認築堤履歷、構成堤體之土質、滲流水通路等狀況，以利於提升堤防之品質。以目前的調查技術，尚難以詳細瞭解經歷長期間完成的堤防內部之複雜土層構造，因此，在開挖河川堤防時，即應同步調查堤防內部構造。

<標準>

開挖河川堤防之際，基本上應實施以下調查。

- 1) 基礎調查
- 2) 事前調查
- 3) 開挖中調查

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

<建 議>

開挖河川堤防時的基礎調查、事前調查、開挖中調查，最好依下列說明實施。詳細作法，基本上應遵照河川堤防開挖調查手冊規定辦理。

1) 基礎調查

蒐集分析調查地點附近過去的土質與地質調查資料、現在的地形圖與航空照片、治水地形分類圖或舊版地形圖、早期航空照片、災害記錄、河川整修等工程記錄（築堤履歷與變形・修補履歷）。

2) 事前調查

現地調查堤體表面與構造物現狀、變形概要等，確認已變形時，應定量地掌握變狀種類與規模。

3) 開挖中調查

對於橫斷堤防的開挖面，詳細觀察描繪其土質分布、混入物質及空洞、裂隙等，並拍攝照片。此外，發現箱涵等構造物及其周邊有變形時，除了上述作法之外，還須觀察回填的土質及範圍、構造物本身的變形狀況、構造物下方的變形狀況等。關於堤防因土壤液化受災後的開挖調查，應在開挖之前先行明溝調查(Trench)，以正確掌握地下水位。另外，正確地紀錄貫入堤體內之噴砂痕跡、流動的砂層等，並整理分析築堤履歷、變形與地下水位之關係，是一件很重要的工作。

依據觀察結果，以砂錐法等，針對各不同土質分布區施作現地密度試驗。若能確認堤體土是鬆弛等變形時，可適度的追加現地密度試驗。

採集堤體土的試樣，可實施室內土力試驗，以掌握其土質工程特性。室內土力試驗項目，包括土壤粒徑分析、土壤含水比試驗、土粒密度試驗、液性限度・塑性限度試驗、土壤透水試驗、土壤三軸壓縮試驗(UU、CD、CUB)、土壤重覆非排水三軸試驗、土壤夯實試驗等。

<相關通知等>

- 1) 河川堤防開削時の調査マニュアル，平成 23 年 3 月，国土交通省河川局治水課.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 4) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 5) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 6) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 7) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 8) JIS A 1218 土の透水試験方法.
- 9) JIS A 0520~0524 土の三軸圧縮試験.
- 10) JGS 0541 土の繰返し非排水三軸試験.
- 11) JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験方法.

第3節 河川構造物土質與地質調查

3.1 調查方針

<要點>

本節探討的河川構造物，主要對象為堰、水門、箱涵(包含涵管，此處通稱箱涵)等。

河川構造物的土質與地質調查，目的是瞭解可影響新設河川構造物安全的地盤分布及其他狀況。

3.2 新設河川構造物調查

3.2.1 調查方針

<要點>

一般新設河川構造物時，有為了規劃選址或概略設計的調查，以及正式展開計畫的詳細調查。前者包含預備調查與現地踏看，後者為正式調查。區分不同階段的調查，目的是要有效率地執行規劃、調查、設計等工作。

土質與地質調查時，應先釐清調查目的為何，譬如，規劃河川構造物、決定設計條件、選定基礎形式、對鄰近構造物的影響、施工中臨時構造物等的設計、施工管理，乃至於未來河川構造物的維護管理等等。

土質與地質調查的範圍、精度，隨著調查對象的河川構造物類別、構造物規模、功能、重要度等條件而異，故應綜合考量該當地盤與河川構造物的條件後，規劃適當的調查計畫。譬如，構造物平面大小較大時，則應增加鑽探孔數。又，堰等的上部構造之變位受到限制時，則有必要詳細瞭解基礎的水平變位，因此，除了詳細的土質與地質調查之外，還要增加載重試驗。此外，樁基礎方面，若樁的數量相當多時，由於經濟效益的考量，也多半會施作載重試驗。

<標準>

新設河川構造物的土質與地質調查，依河川構造物的規劃、設計、施工等不同目的，希望要取得適當且充分的資訊，標準的調查程序如下：

- 1) 預備調查與現地踏勘
- 2) 細部調查

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

3.2.2 預備調查與現地踏勘

<要點>

預備調查與現地踏勘，目的是要掌握新設河川構造物場址之地形特性、構成地盤的地層概要性狀，並取得決定基礎形式、規劃預備設計與細部調查等所需的資料。

<標準>

預備調查，基本上應透過既有的土質與地質調查資料、地形圖、航空照片等，掌握預定場址地區之地形與地盤組成概況。

現地踏勘，係指藉由觀察地表的岩石、土層狀態，並研判地下地質的一連串野外作業。基本上，新設河川構造物預定場址及周邊的現地踏查，除了要一面觀察地表露頭一面繪製踏勘圖，填補露頭與露頭間的資料，製作成調查區平面地質圖之外，還要觀察地形並加以分類，調查有無地滑、不利於施工等的地形與地質問題。

<建 議>

予備調查最好依下列說明實施。

1) 既有地盤相關資料的調查

為了掌握大致的地層組成，可蒐集分析調查區域附近既有地盤調查與水井等的資料。

2) 既有構造物的調查

為了掌握新設河川構造物場址大略地層結構，若調查區域旁邊有構造物的話，應蒐集分析該構造物之基礎形式、規模、有無沉陷或傾斜及其變形程度、工程記錄等資料。

3) 其他的資料調查

進行設計所須的其他資料如下所示，必要時也應一併調查。

- a) 可瞭解地質狀況的各種圖資（土地條件圖、土地利用圖、土地分類圖、古地圖等）
- b) 航空照片、遙測影像、GIS 等的大範圍調查資料
- c) 地滑、崩塌、土石流、河川氾濫等災害相關資料
- d) 噪音、振動等環境保全相關法規等
- e) 活斷層相關資料

3.2.3 細部調查

<要 點>

細部調查，目的在瞭解新設河川構造物場址之基礎地盤結構、性質與地下水狀況等。

<標 準>

細部調查，基本上乃是為了瞭解河川構造物的預備設計與細部設計所需之地盤條件、施工條件、設計所需的地盤參數等，乃進行地質鑽探及現地土壤探測等，並將取得試樣提供土力試驗，且綜合整理各調查與試驗結果。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

<建 議>

進行細部調查時，最好依據以下所述辦理。

1) 地質鑽探

地質鑽探，目的為掌握地層組成，研判地下水位。

鑽探對象為岩盤時，多半以鑽探結果區分土層，且以鑽探取得之岩心試樣供力學判釋。鑽探位置的選定攸關調查成敗，因此應在必要的地點，鑽探必要的孔數，每孔鑽達必要深度。

即使以岩盤作為承載層，但因河川構造物的規模與重要度之故，表層附近軟岩層可能風化、龜裂、斷層等的狀況，而無法作為支承層。因此，地質鑽探必須要鑽達新鮮基盤，確認地層狀態，希望能取得充分的資訊，提供選定適當承載層的參考。

地質鑽探相關事項，請參考如下所示。

a) 鑽探地點

調查地點為新設河川構造物場址，每個構造上獨立基礎部位都應地質鑽探。但是寬度小於5m的箱涵、涵管等一連串構造物，則沿著管軸位置鑽探3處；涵管較短時，可鑽探1~2處。

此外，若既有構造物阻礙到鑽探作業時，可選擇最靠近的位置鑽探。

b) 鑽探深度

鑽探深度，一般多應達到會影響支承力、滑動、壓密沉陷、土壤液化、滲透、施工的範圍內，並依河川構造物規格，鑽探到能確認良好的承載層或基盤面深度為止。雖然承載層的要求係隨河川構造物規模與重要度、作用於基礎的荷重條件等而異，但是一般的概估標準為，砂層與砂礫層的 N 值大約 30 以上，黏質土層的 N 值大約 20 以上，且該等層厚都須連續 3~5m。承載層若是沖積層時，則鑽探深度應貫穿沖積層。

此外，若遇到可能會土壤液化的地盤，則應參考用本章 第 2 節 2.1.4 (3) ” 液化地盤調查” 所述，進行地質鑽探。

因應河川構造物設計之需，鑽探過程中應採取試樣，提供觀察與各種試驗。採取的試樣，可區分為「擾動土樣」與「擾動較少土樣」，實施土力試驗。

採取試樣時，應依據土質及其硬軟度，選擇適當的取樣方法。對於容易崩坍、無法自立的土壤或砂質地盤，為了要探討其液化潛勢，須進行有關三軸強度比的室內試驗，此時，最好利用冷凍取樣法採取試樣，以避免試樣受到擾動而嚴重影響試驗結果。

又，取樣位置，則可參照 4) 土力試驗 說明。

2) 現地土壤探測(Sounding)

標準貫入試驗，係最常與地質鑽探同時實施的試驗，它不僅能推定地層組成，也能從實測 N 值，藉由相關關係，求取各種地盤參數。十字片剪試驗，可在現地直接求取土壤剪力強度（主要為黏著力）的方法。簡易式圓錐貫入試驗、荷蘭錐貫入試驗、電器靜態圓錐貫入試驗與瑞典式貫入試驗，則能調查地盤硬軟度與夯實度。這些試驗多半搭配其他調查與試驗實施，並依調查目的決定試驗位置、深度、試驗次數等。

3) 其他現地試驗

a) 地下水調查

地下水調查，可分為針對地下水本身的調查、含水層分析及其性質的調查。相關細節，可參照第 2 章 水文·水理觀測 第6節 地下水觀測。

b) 載重試驗

載荷試驗，乃是直接在地盤與基樁上載重，求取承載力、地盤反力係數、彈性係數等的試驗，主要項目有地盤平板載重試驗、孔內水平載重試驗、基樁垂直或水平載重試驗等。此外，還有直接在岩盤進行塊樣剪力試驗(Block shear test)等。

c) 物理探測與井測

物理探測(Surface-based geophysical exploration，簡稱“物探”)與井測(Borehole logging)所量測到的各種物理量，並沒辦法直接顯示地盤的力學與工程性質，頂多只能顯示整體地盤狀態；因此，該等量測到的資料，必須搭配其他調查結果來判釋，以免誤判。

常見的物理探測法，有地震波探測、地電阻探測、地電磁探測等；常見的井測，則有速度井測、PS井測、電阻井測、密度井測等。

這些地球物理調查之中，使用頻率最高的是地震波探測與 PS（速度）井測，都是用來求取微量應變時的剪切波（S 波）速度，例如，在耐震設計時，可用這個測取的數值決定耐震設計的基盤面，也可作為推定基盤地盤的動態反應特性(Dynamic response characteristics)。此外，亦可利用P 波的速度，推測岩盤的硬軟與風化程度。

4) 力學試驗

a) 土力試驗

土力試驗，有求取土粒密度、含水比、粒徑、稠度、單位重量、間隙比等土壤物性的試驗，以及求取黏著力、摩擦角、變形係數、壓縮指數、壓密係數等土壤力學特性的試驗。

求取土壤物性的試驗，除了可判別與分類複雜的土層之外，還可搭配其他的試驗值或測定值，協助綜合判釋，因此，對於各不同性狀的土層，都要取樣並試驗。

求取力學特性的試驗，須考慮地層連續性與層厚等，才決定試驗位置，並將圍壓與排水條件等納入考量，設定適當的試驗條件。

取樣位置，由於相同地層的土壤力學性質，深度方向的變化會比水平方向明顯，因此應在代表性位置，往深度方向連續取樣。重要的是，應配合工程設計的考量，選擇適當的取樣位置，譬如，若重點在於基樁基礎等的水平阻抗時，則應在對水平阻抗影響大的較淺範圍取樣。

主要的土力試驗項目，如下：

- ① 土壤粒徑分析：粒徑累積曲線、有效徑 D_{10} 、均勻係數 U_c 、曲率係數 U_c 等
- ② 土壤含水比試驗：含水比 w 等
- ③ 土粒單位重試驗：土粒單位重 ρ_s 等
- ④ 土壤單位重試驗：濕土單位重 ρ_t 、乾土單位重 ρ_d 、孔隙比 e 等
- ⑤ 阿太堡試驗：液性限度 W_L 、塑性限度 W_p 、塑性指數 I_p 等
- ⑥ 土壤單軸壓縮試驗：不排水剪力強度 s_u 、靈敏度 S_t 等
- ⑦ 土壤壓密試驗：壓縮曲線、壓密屈伏應力 p_c 、壓縮指數 C_c 、體積壓縮指數 m_v 、壓密係數 c_v 等
- ⑧ 土壤三軸壓縮試驗：摩擦角 ϕ' 、 ϕ'_u 、 ϕ_{cu} 、 ϕ_d ，黏著力 c' 、 c_u 、 c_{cu} 、 c_d
- ⑨ 土壤透水試驗：滲透係數 k
- ⑩ 其他試驗

堰與水門的基礎，一般都是由承載層支撐，但是箱涵的基礎未必有承載層支撐，而會設計撓性基礎。

不管是那一種構造物，只要是樁基礎，則其底面正下方很可能出現空洞。又，不論是樁基礎或是直接基礎，若要在構造物下方與側面設計止水板樁時，應事先調查周邊土層之粒徑組成與透水性。

b) 岩力試驗

岩力試驗，有求取密度、含水比、吸水比、消散等的物理特性試驗，以及求取震波速度、柏松比、壓縮強度、黏著力、摩擦角、變形係數等力學性質的試驗。

岩力試驗的注意事項，基本上與土力試驗相同。但是，雖然利用岩心提供岩力試驗，可對岩盤作部分的評估，但是仍無法掌握層理、節理、風化程度等岩盤的整體性狀。因此，調查岩盤時，最好也進行物理探測等，可掌握整體岩盤概要的調查方法。

5) 結果綜合整理

綜合判釋各種調查試驗結果，並整理地盤材料特性值、基礎設計用參數、地盤對地震反應的相關資料與數據。

地盤材料特性值，是指土質分類、單位體積重量、變形係數、強度參數(黏著力、摩擦角)、壓密有關參數、滲透係數、土壤液化有關的參數，動態變形特性等、能表現土壤特性的參數。

基礎設計用參數，包括地盤反力係數、最大表面摩擦力度、主動與被動土壓強度等，及規劃設計基礎形式、尺寸、施工法等所需的參數。

地盤對地震反應的相關資訊，是指耐震設計上的地盤類別與地震動增幅特性、土壤液化判釋結果等。

6) 施工條件調查

在施工計畫階段，進行與施工條件有關的土質調查，以供決定工法與機具、臨時設施的規模與配置、工期與進度等之參考。

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JGS 1411 原位置ベーンせん断試験.
- 5) JGS 1431 ポータブルコーン貫入試験.
- 6) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 7) JGS 1435 電気式静的コーン貫入試験.
- 8) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法.
- 9) JGS 1521 地盤の平板載荷試験.
- 10) JGS 1421 孔内水平載荷試験.
- 11) JGS 1811 杭の押し込み試験.
- 12) JGS 1812 杭の先端載荷試験.
- 13) JGS 1813 杭の引き抜き試験.
- 14) JGS 1814 杭の鉛直交番載荷試験.
- 15) JGS 1815 杭の急速載荷試験.

- 16) JGS 1816 杭の衝擊載荷試験.
- 17) JGS 1831 杭の水平載荷試験.
- 18) JGS 1122 地盤の彈性波速度檢層.
- 19) JGS 1121 地盤の電気檢層.
- 20) JIS A 1204 土の粒度試験方法.
- 21) JIS A 1203 土の含水比試験方法.
- 22) JIS A 1202 土粒子の密度試験方法.
- 23) JIS A 1225 土の濕潤密度試験方法.
- 24) JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験方法.
- 25) JIS A 1216 土の一軸壓縮試験方法.
- 26) JIS A 1217, 1227 土の圧密試験.
- 27) JGS 0520~0524 土の三軸壓縮試験.
- 28) JIS A 1218 土の透水試験方法.

3.3 河川構造物維持管理調査

3.3.1 調査方針

<要 點>

就變形特性與滲透性而言，河川構造物與土壤是不同的材料，因此，構造物本身與其周邊很容易形成滲流水與漏水等水流通路。因此，河川構造物維護管理階段，應掌握其構造詳細內容、基礎形式、土質性狀等資訊，並觀察研判構造物與周邊堤防之間是否有變形。

<標 準>

既有河川構造物，為了防範構造物本身及其周邊成為堤防的弱點，應隨時巡視接縫、接續部開口處、止水板等有無損傷，堤體是否有沉陷導致往上抬起、是否出現空洞與漏水等。巡視應依據“維持管理編”規定辦理；根據巡視結果，認為須進一步調查時，其標準程序如下：

- 1) 預備調查與現地踏勘
- 2) 細部調查

另外，更新或拆除河川構造物時，視狀況可依本章第 2 節 2.4 “河川堤防開挖調查”所述，進行調查作業。

實施上述各種調查與試驗時，應依循「地盤調査の方法と解説（地盤工学会，2004）」與「地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会，2009）」辦理，並依據「日本工業規格」與「地盤工学会」準則規定之試驗方法施作。

3.3.2 預備調查與現地踏查

<要 點>

預備調查與現地踏勘，目的是要瞭解既有河川構造物附近地盤的地層性狀概要，並取得巡視既有設河川構造物與周邊堤防的必要資料。

<標準>

既有河川構造物的預備調查，基本上，應先調查分析構造物（設施）資料登記簿、設計與竣工圖及報告、構造物地點及其周邊土質與地質調查資料、破堤・沉陷・土壤液化・漏水等受災履歷相關記錄與資料。

現地踏勘的標準作法，是觀察構造物內外與周邊，瞭解有無變狀及其程度。

<建議>

整理各河川構造物容易產生變形的條件，譬如，樁基礎的**上抬**與形成空洞、直接基礎或摩擦樁基礎的不等量沉陷與函體龜裂、土壤液化對構造物的影響、老舊構造物的材質劣化等問題。

設在堤防內的構造物，例如，水門與箱涵等，若根據構造物地點的微地形區分、附近河川堤防調查的結果，推定不具有液化潛感土層時，則可省略土壤液化對構造物影響的**細部調查**。橫斷河川而設置的堰等構造物，其基礎地盤的土質性狀可能與堤防基礎地盤不同，故最好實施土壤液化對構造物影響的細部調查。

3.3.3 細部調查

<標準>

細部調查的項目，包括地質鑽探與現地土壤探測、現地位試驗（連通試驗等）、土力試驗等。

<建議>

形成空洞或明顯沉陷、止水構造損傷等之處，應沿構造物底版的削孔或構造物側壁面，進行地質鑽探與現地土壤探測，確認有無空洞，並於調查孔注水，量測孔間的水壓反應（水壓反應測定試驗（連通試驗）），以確認沿構造物有無水流通路。明顯變形之處，則應判定是否改建或補修。

此外，土壤液化對河川構造物影響的調查，可參照本章第2節2.1.4（3）土壤液化地盤調查。

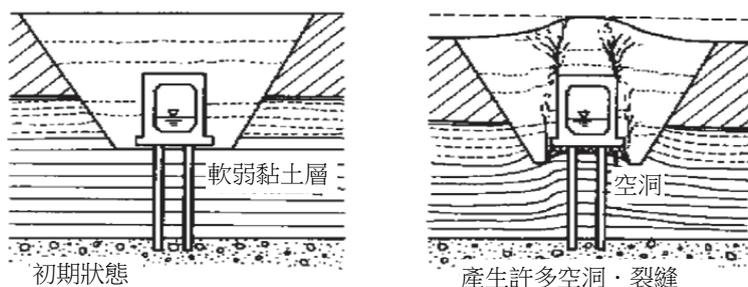


圖15-3-1 樁基礎構造物發生上抬即形成空洞的狀況

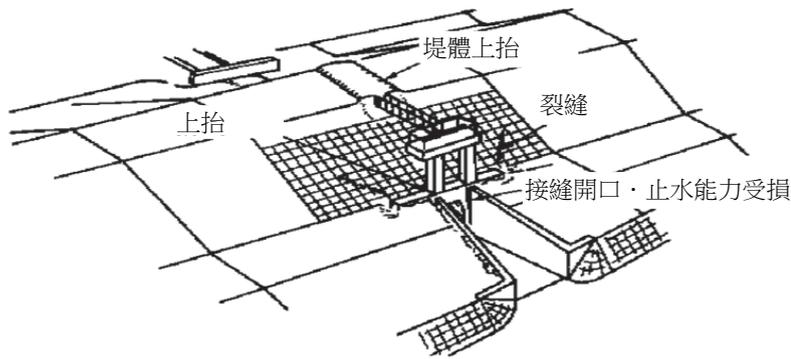


圖15-3-2 既有構造物周邊的變形

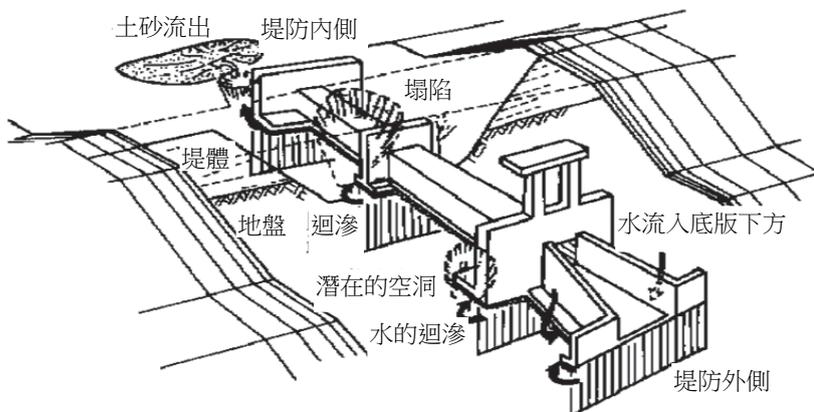


圖15-3-3 箱涵周邊變形與受災現象概念圖

第4節 壩工程地質調查

4.1 壩工程地質調查方針

< 要點 >

壩工程地質調查，係為了建造安全、經濟、環保的水庫，乃對壩基礎、壩體材料、與水庫周邊地質狀況、其他工程地質相關的必要事項等，進行調查。

壩工程地質調查，包括下示項目，應隨壩建設計畫階段（4.2.1），適時地進行各項調查作業。

- 1) 壩基礎等調查以及土壩基礎地盤土質調查
- 2) 第四紀斷層調查
- 3) 水庫周邊地滑等調查
- 4) 壩體材料調查
- 5) 臨時設施與替代道路等調查

壩基礎等調查（4.3），目的是針對壩基礎與攸關止水(水密)性的邊緣部位的地盤（以下合稱「壩基礎等」），獲取它從選址到設計、施工、維護管理等，所需之地質資訊。若壩基礎的全部或局部為土質地盤或砂礫地盤時，則應實施土壩基礎地盤土質調查（4.2.7）。

第四紀斷層調查（4.4），目的是要瞭解曾在第四紀活動而致地表變位的斷層（以下稱為「第四紀斷層」）之中，有無影響水壩興建工程者；必要時，應詳細調查其位置、規模與活動性。

水庫周邊地滑等調查(4.5)，乃是針對隨著水庫蓄水而導致地滑與崖錐堆積等未固結堆積物的大規模邊坡變動(以下稱為「地滑等」)，進行有無地滑地及其規模、性狀、蓄水對其穩定性的影響、蓄水誘發地滑的防治對策等的調查。

壩體材料調查(4.6)，就預定之壩型式與規模，調查符合壩體材料的品質、數量、經濟效益、降低衝擊周邊環境等之相關地質資訊。

臨時設施與替代道路等調查(4.7)，目的是取得設計與施作臨時圍堰、臨時排水路、纜索起重機、通行道路、工程用道路等所需的地質資訊。

調查資料之保存(4.8)，目的是在後續階段中，能有效運用壩興建計畫各階段調查所得之地質資料。

<建議>

為了更有效率且正確掌握壩建設相關地質條件，應配合壩事業不同階段，依以下所示方針，有系統地實施地質調查。

- 1) 由大範圍調查，逐漸聚焦到小範圍調查
- 2) 從運用小比例尺地形圖的粗略調查，進行到以大比例尺地形圖的詳細調查
- 3) 從掌握整體趨勢的調查，逐漸做到鎖定特定目的的調查

上述各項調查彼此關係密接，調查結果與施工時的資訊常可相互運用。因此，應有計畫地、有效率地進行調查，並靈活應用資訊，例如，替代道路調查與水庫地滑等調查，可同時進行；臨時排水廊道的挖掘面之觀察資料，可供製作壩址地質斷面圖的參考等。

<參考資料>

壩地質與壩地質調查方針可參考下列資料。

- 1) 脇坂安彦，双木英人：多目的ダムの建設，pp.1-123 第3卷 調査Ⅱ編 第15章 ダムの地質調査(財)ダム技術センター，2005.
- 2) 中村康夫：地質現象とダム，p.454，(財)ダム技術センター，2008.
- 3) 土木学会：ダムの地質調査，1986.

4.2 壩建設計畫階段與調查內容

4.2.1 壩建設計畫階段

<要點>

壩工程地質調查，為了獲取從選址到設計、施工，乃至於維護管理所需的地質資訊，應依以下各階段進行調查。

- 1) 壩址評選階段
- 2) 壩軸評選階段
- 3) 設計階段
- 4) 施工階段
- 5) 維護管理階段

4·2·2 壩址評選階段

(1) 調查目的

<要點>

壩址評選階段，係於選定數個建壩的候選場址之後，為了取得判斷候選場址優劣、建壩可能性等所需地質資料，而進行壩基礎等、第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料等各項調查的階段。

(2) 調查範圍

<必須>

壩址評選階段的調查範圍，係於數個壩址候選場址，以能取得判斷壩址候選場址優劣、建壩可能性等所需地質資料的適當範圍為準。第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料等之各項調查範圍，可參照本章4.4、4.5、與4.6所示，適當地設定之。

<標準>

壩基礎與水庫的地表地質調查範圍，包含所設定水庫全區，標準上，以壩的中心線為界線，其上游側範圍，以所設定滿水面為準，向外擴展300~500m；下游側範圍，以相當於壩中心線到水庫上游端距離的1/2之下游河道為基準，往河流兩岸方向擴展300~500m（圖15-4-1）。但是，當兼具壩體材料調查時，若認為有往其他流域漏水之虞的話，視情況還須擴大調查範圍。

壩址周邊實測橫斷面圖的範圍，包含所設定壩基礎與止水範圍，標準上，應該要比滿水面標高還高出100m以上，或由預定壩翼往山側延長200m以上。但是，其範圍內的測線上有鞍部地形時，則自該當地點往山側再延伸100m以上。

壩基礎等的物理探測（震波探測等），標準的測線長度為，自所設定水壩的兩翼，到壩頂高程以上的開挖坡面頂部為止。

壩基礎等的地質鑽探，在初期階段，先於設定壩軸的河床、兩翼、壩體坡面趾部等處，進行地質鑽探，爾後，再隨調查進度，以壩底為中心，在能取得壩設計所需地質資料的必要範圍內，進一步地質鑽探。

壩基礎等的調查坑調查，係於壩址選定階段，認為有某重要地質課題會影響壩建設時，在涵蓋該地質課題的範圍內，施作調查坑調查。

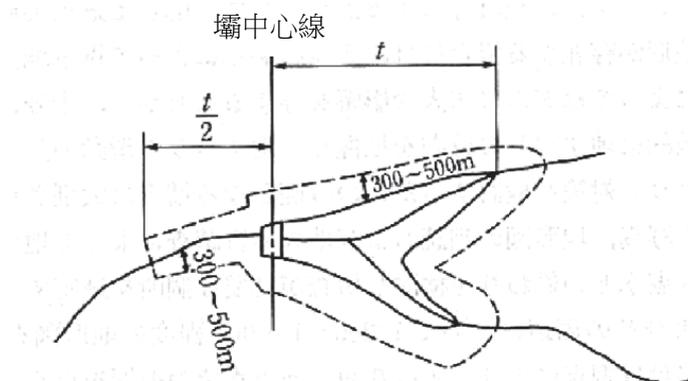


圖15-4-1 壩址選定階段的地表地質調查範圍

(3) 調查精度

< 必須 >

壩址評選階段的調查範圍，係於數個壩址候選場址，以能取得判斷候選地點優劣、建壩可能性等所需地質資料的適當精度為準。第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料等之各項調查精度，可參照本章4.4、4.5、與4.6所示，適當地設定之。

壩址評選階段調查用之地形圖精度，因為它左右著地質調查的正確性，因此應事先備妥符合需求比例尺之地形圖與實測縱橫斷面圖。

< 建議 >

壩址評選階段，基本上，所使用之地形圖為比例尺1/5,000左右地形圖，但是對於壩址周邊，必要時最好使用 1/500~1/1,000 實測平面圖、航測圖化平面圖，或以空中光達測製的地形圖。

實測縱橫斷面圖的比例尺，基本上為 1/500~1/1,000，必要時最好製作同比例尺的河床實測縱斷面圖。

僅於壩址評選階段的初期，為了確認震波探測測線及鑽探位置，而以水準測量的縱橫斷面圖，或是以航測地形圖、光達測量地形圖作成的縱橫斷面圖，代用實測縱橫斷面圖；但是在壩址評選調查的最後階段，還是以實測縱橫斷面圖為宜。

< 舉例 >

壩址、水庫邊坡的地形與地質複雜的話，可應用空中光達測製地形圖、陰影圖、坡度圖等高精度圖資，同時也可提升爾後的地形地質調查精度。此外，測繪航測地形圖等之際，若能將標高的資料數化，有利於GIS等的應用。

(4) 調查內容

< 標準 >

壩基礎等調查的內容，包括資料調查、地形調查、地表地質調查、物理探測、地質鑽探等，並作地下水調查等；必要時，應進行調查坑調查。

第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料的各項調查，可參照本節 4.4、4.5、與 4.6 所示，適當地實施。至少，第四紀斷層的調查應進行初勘(4.4.2)；水庫周邊地滑等的調查，應實施概查(4.5)。

< 建議 >

各調查內容如下，可適當地組合搭配實施：

資料調查，係蒐集並分析壩址候選場址及水庫周邊地形與地質相關之資料與文獻，以供後續工作參考；細節參考本節 4.3.2 所示。

地形調查，應針對壩址候選場址與水庫周邊，進行航空照片判釋與地形圖判釋，將壩址候選場址及水庫周邊地區內，對於壩工程上需特加注意的地形（地滑地形、崩塌地形、岩盤重力變形地形、崖錐地形、河階地形、斷層地形等）圈繪出來，調查方法如本節 4.3.3 所示。第四紀斷層調查，依本節 4.4 所示實施；水庫周邊地滑地形等調查，依本節 4.5 所示實施。

地表地質調查，乃是壩址評選階段的基本調查，於取得資料調查與地形調查等結果後，隨即赴現地調查，以獲取各壩址候選場址與水庫周邊的地質資料。實施要領參照本節4.3.4。

物理探測，目的是概略地掌握壩址附近硬岩線分佈狀況、有無大規模斷層、熱液變質帶等。探測的測線至少須布設在預定的壩軸上，甚至於在河床、左右岸壩頂附近，也最好配置上下游方向測線。實施要領參照本節4.3.5。

地質鑽探，目的在取得地質組成、岩盤狀況、滲透特性等地質資料，以確認對建壩工程相當重要的地質性狀。鑽探孔位，應配置在能確認壩址河床部位與左右岸岩盤狀況的地點；鑽探深度，至少須大於壩高，才能瞭解其基礎的力學安定性與止水性；調查要領，參照本節 4.3.6。又，岩盤部的鑽孔內，原則上須進行呂秦漏水試驗(Lugeon test)；試驗要領，參照本節 4.3.9。

調查坑調查，與地質鑽探比較，能直接觀察到更寬廣的地下岩盤狀況，因此，對於水庫建設上有特殊考量的地質課題，且欲提高地質調查精度時，可進行調查坑調查。為了避免影響呂秦漏水試驗，基本上，應在完成地質鑽探後，才實施調查坑調查；若調查坑開挖後才要進行呂秦漏水試驗的話，則鑽孔位置應離開調查坑至少 20m 左右。調查坑調查要領，參照本節 4.3.7。

地下水調查，目的在掌握地下水位分佈，應在地質鑽探時，記錄鑽探過程中的湧水與漏水深度、孔內水位變動，以及鑽孔後的孔內水位變動等狀況。另外，鑽探過程中出現湧水的深度，應測定其水壓(水頭)，視情況還得記錄湧水量與湧水壓之持續變化情形。地下水調查要領，參照本節4.3.8。

(5) 調查結果之整理

< 必 須 >

壩址評選階段的調查結果整理，係綜合整理分析壩址候選場址地質狀況(地質組成、地質構造、岩盤狀況、透水性狀等)，檢討地質上的課題、建壩的可行性、各壩址候選場址優劣、及壩軸評選階段調查的建議事項。此外，第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料的各項調查結果，應參照本節的 4.4、4.5、與 4.6，適當地整理。

< 標 準 >

應製作圖資如下:

- 1) 壩址地形判釋圖及水庫周邊地滑等預察圖
- 2) 水庫地質平面圖
- 3) 壩址地質平面圖
- 4) 壩址地質橫斷面圖
- 5) 壩址岩級區分橫斷面圖
- 6) 壩址橫斷面呂秦圖(Lugeon map)
- 7) 第四紀斷層相關圖資
- 8) 壩體材料相關圖資

4.2.3 壩軸評選階段

(1) 調查目的

<要點>

壩軸評選階段的調查，係就已選定的壩址，欲取得判斷壩軸優劣的地質資訊，而進行壩基礎等、第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料相關等各種調查的階段。

(2) 調查範圍

<必須>

壩軸評選階段之調查範圍，係在選定的壩址內，能取得評定壩軸的地質資訊之適當範圍；此時，應考慮壩體範圍與截水處理範圍，才設定調查範圍。

此外，第四紀斷層、水庫周邊地滑等、堤體材料等的調查範圍，可參照本節4.4、4.5與4.6，設定適當的範圍。

(3) 調查精度

<必須>

壩軸評選階段的調查精度，應為能比較、檢討各壩軸所需之精度。

此外，第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料等各種調查，應參照本節4.4、4.5與4.6，決定適當的調查精度。

<建議>

壩軸評選階段的調查用地形底圖，最好是 1/500 實測地形圖。但是對於壩高較高的土石壩與廣域止水計畫的調查，為了方便使用，亦可使用1/1,000實測地形圖。

(4) 調查內容

<標準>

壩基礎等的調查，於選定的壩址內，為了取得探討壩的形式、規模、開挖量、止水範圍、地質課題等的必要情報，以供評選壩軸參考，乃進行地表地質調查、物理探測、地質鑽探等，且必要時，還需實施調查坑調查。此外，為了掌握壩基礎與邊緣部的止水方法、止水範圍，而實施地質鑽探時，應依本節 4.3.9，在鑽孔內施作呂秦漏水試驗(Lugeon test)，算出呂秦值；若在未固結地盤等無法進行呂秦漏水試驗時，可挖掘土坑施作圓筒形底面滲透試驗等其他適當的試驗，以求取透水性。

第四紀斷層調查，係截至本階段止，為了確認在選定的壩址範圍內，有無建壩工程上須注意之第四紀斷層，而進行必要的第四紀斷層調查；實施要領，參照本節 4.4。

水庫周邊地滑等調查，係截至本階段止，為了確認在選定的壩址範圍內，有無建壩工程上須注意之的地滑，及掌握水庫周邊地滑地形，而實施必要的調查；實施要領，參照本節4.5。

壩體材料調查，可依據本節4.6所示，適當地實施。

<建議>

評選壩軸所需的基本調查內容如下:

壩軸的評選，在初期階段，先依據壩址評選階段的調查結果與地形等實施，然後，於壩址評選階段所選定的各候選壩軸，在同樣的測線上，進行物理探測、地質鑽探與調查坑調查；為了提高地質資訊可靠性，各項調查應在能得到互補功能的地點與時期分別進行。此外，隨各項調查進展，適時評估各候選壩軸，必要時也應調查新的壩軸。

地表地質調查，為了補充壩址評選階段的地表地質調查，而在能評定壩軸的範圍內測量露頭，仔細進行地表地質調查；實施要領，參照本節 4.3.4。

物理探測，係沿各候選壩軸為測線，進行探測；實施要領，參照本節 4.3.5。

地質鑽探，係沿各候選壩軸為測線，進行鑽探；實施要領，參照本節 4.3.6。

調查坑調查，係針對各候選壩軸，於必要時進行調查坑調查；實施要領，參照本節 4.3.7。

壩軸評選階段的各項調查，視該壩址內的候選壩軸狀況，有時採用網格式調查會更有效率；細節，參照本節 4.2.4。

(5) 調查結果整理

<必須>

壩軸評選階段的調查結果，除了要綜合整理・分析之外，還要針對各候選壩軸的地質狀況(地質組成、地質構造、岩盤狀況、透水性狀等)、地質上的課題、各候選壩軸的壩型式・規模、開挖量、止水處理範圍相關檢討結果、各候選壩軸優劣等加以檢討，並建議設計階段的調查事項。

此外，第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料相關各項調查結果，應分別參照本節 4.4、4.5 與 4.6，適當地加以整理。

<標準>

壩軸評選階段的調查成果圖，標準上應包括下列圖資:

- 1) 壩址地質平面圖
 - 2) 各候選壩軸地質橫斷圖
 - 3) 各候選壩軸岩級區分橫斷圖
 - 4) 各候選壩軸橫斷呂秦圖
 - 5) 第四紀斷層相關圖面
 - 6) 水庫地滑相關圖面
 - 7) 壩體材料相關圖面
- 必要時還須製作以下圖面。
- 8) 壩址地質水平斷面圖
 - 9) 壩址岩級水平斷面圖
 - 1 0) 壩址地質縱斷面圖
 - 1 1) 壩址岩級區分縱斷面圖
 - 1 2) 壩址縱斷呂秦圖

4.2.4 設計階段

(1) 調查目的

<要 點>

設計階段調查，係在建壩工程中，為了取得設計與研擬施工計畫所需地質資料，而進行壩基礎等、水庫周邊地滑等、壩體材料、臨時設施與替代道路等調查的階段。

(2) 調查範圍

<標 準>

設計階段的調查，基本上，在所選定壩軸，以能取得有關建壩工程設計與施工計畫所需地質資訊的適當範圍進行調查。

具體而言，是指能掌握壩基礎及周邊開挖範圍、邊緣部等止水範圍、壩工程相關設施的施工範圍之地質性狀與地下水分布之必要範圍。此外，若地質不均質或地下水變化大、壩址近鄰可能變成大規模弱層的不連續面、或有地滑等狀況時，也應納入調查的必要範圍，以瞭解該等狀況的分布與性狀。

第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料、臨時設施與替代道路等之調查，依本節 4.4 ~ 4.7 之說明，在適宜範圍內進行作業。

(3) 調查精度

<必 須>

設計階段的調查精度，係在所選定壩軸，以能取得有關建壩工程設計與施工計畫所需地質資訊的適當精度底圖實施調查。此外，第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料、臨時設施與替代道路等調查的適宜精度，依本節 4.4 ~ 4.7 之說明。

<建 議>

設計階段所使用地形圖精度，對地質調查可靠性、工程費用等的影響相當大，因此，壩基礎的調查最好使用1/500 實測地形圖。但是，壩高較高的土石壩及廣域的止水計畫，考量使用的方便，視情形可使用 1/1,000 實測地形圖。

(4) 調查內容

<標 準>

壩基礎等的調查，係為了取得壩的主體工程配置、岩盤開挖線、止水處理工程設計等之地質資訊，而進行以地質鑽探與調查坑調查為主的調查，以瞭解地質組成、地質構造、斷層、破碎帶、風化帶、熱液變質帶、岩盤變形區等狀況，並量測基礎岩盤的強度、變形係數、彈性係數、滲透係數等物性。

鑽探調查及調查坑調查，原則上依據本節 4.3.6 與 4.3.7，用網格式（立體格子狀調查網）實施；為了提高地質資訊可靠性，各項調查應在能得到互補功能的地點與時期分別進行。

標準上，壩基礎的抗剪強度、變形係數、彈性係數等，係以現地試驗求取，必要時可參考其他壩的現地試驗結果，設定設計值。但是對於小規模的壩等，若已充分確認其工程地質性質狀況類似時，則可參考其他壩的現地試驗結果，設定其設計值。現地試驗，是在壩體的基礎岩盤各岩級代表性分布地點，為了再度評估試驗地點周邊與試驗面岩級，而依本節 4.3.9說明，進行試驗。

為了掌握壩基礎與邊緣部的止水方法、止水範圍，而實施地質鑽探時，應依本節 4.3.9，在鑽孔內施作呂秦漏水試驗(Lugeon test)，算出呂秦值；若在未固結地盤等無法進行呂秦漏水試驗時，可挖掘土坑施作圓筒形底面滲透試驗等其他適當的試驗，以求取透水性資料。

岩石各項性質，是瞭解壩基礎等岩盤工程性質的依據；壩體材料調查，也是要掌握岩石各項性質。因此，對於構成基礎岩盤之主要岩石，以及壩工程設計所需瞭解的岩石各項性質，應依據本節 4.3.10 標準，進行岩石力學室內試驗。

第四紀斷層調查，原則上實施到壩軸評選階段為止，但是在選定壩軸後，又從文獻等獲得新資訊時，也應參考其內容，依本節 4.4 標準，實施適當的調查。

水庫周邊地滑等的調查，在本階段，基本上已大致掌握水庫周邊地滑等狀況，並進行檢討對策方針所需調查。對於在壩體基地附近可能有地滑的狀況，原則上，這項調查工作在壩軸評選階段結束前即應完成；但是在壩軸選定後才獲得新資訊時，應參考其內容，並依本節 4.5 說明，適宜地進行調查。此外，其他的壩工程設施、房屋、國道等水庫周邊的重要設施，若可能有地滑時，在設計階段結前即應完成調查。

壩體材料、臨時設施計畫處所及替代道路等的地質調查的內容，參照本節 4.6、4.7。

<建 議>

網格的選定方法建議如下。

首先，以壩軸或靠近的直線為第1基準線（X軸），基準線（X軸）與河道中央垂直之直線為第2基準線（Y軸），通過其交點（基準點(0)）分別與X軸、Y軸直交之任意標高直線為第3基準線（Z軸）。X、Y、Z軸之中，包含2條軸的面（基準面）有3個，與各個基準面平行且間隔一定的平面所構成的格子，稱為「網格」。此外，投影在平面圖上的網格稱為平面網格。網格間隔可任意設定，基本上以10 m的倍數較方便使用，大多設定為20~40m。此外，在調查的初期階段，通常以大的網格間隔布設鑽探與調查坑位置，但若有特別地質狀況，或設計上希望取得更詳細地質資訊之處，以內插法縮短網格間隔。

配置鑽探與調查坑位置的一般注意事項如下：

- 1) 通常多在山腰部位作調查坑(橫坑)調查，而在河床部進行地質鑽探，則山腰下方（圖15-4-2 內A與B部分）容易成為調查盲點，這部分可從山腰與河床交界處，往山側施作斜向鑽探(a)，或自山腰施作垂直鑽探(b)。此外，若以鑽探而非以調查坑確認壩頂附近岩盤狀況時，則應從壩頂往山的方向確實地布設鑽探孔位，希望更精確地掌握壩基礎的硬岩，。
- 2) 若鑽探與調查橫坑在網格同一線上重疊或非常靠近，容易影響鑽探孔內的Lugeon test結果，因此最好先施作鑽探，或者兩者的距離至少錯開20m左右。

- 3) 有時聯結調查橫坑的坑口與坑口，挖掘明溝（trenching）調查，或挖掘上下游方向的支坑，比較容易判釋地質構造。
- 4) 在震波探測等的物理探測測線交點實施鑽探，能提高物理探測查結果的分析精度。

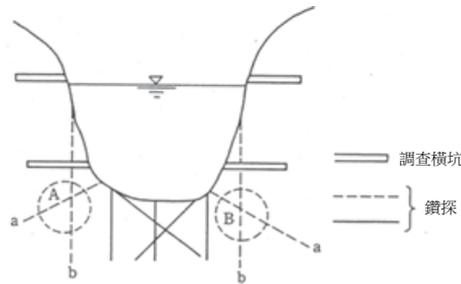


圖15-4-2 調查橫坑與鑽探配置舉例

此外，依不同壩型式，各有其應注意之地質事項(如下)，配置鑽探與調查坑時應加以注意:

- 1) 各型式的壩都應該注意：均質且堅硬基礎地盤之分布深度，壩體基地有無大規模斷層、變質帶、大規模地滑，有無岩盤變形、壩頂附近標高與地下水位線之分布。
- 2) 混凝土重力壩：河床、壩體基礎、壩趾部與壩體附近硬岩分布情形，有無低角度地質不連續面（斷層、節理、裂縫等）與脆弱部。
- 3) 混凝土拱壩：著岩部的堅硬岩盤分布，下游翼部硬岩厚度，連續垂直、上下游方向的地質不連續面（斷層、節理、裂縫）
- 4) 土石壩：壩心地基（內部土質止水壁型堆石壩時）岩盤狀況，有無可能產生不等量沉陷之大規模斷層與熱液變質、強風化帶等

(5) 調查結果彙整

< 必 須 >

設計階段的調查結果，應整理截至當前所有的地質調查與試驗結果，綜合檢討壩基礎等的地質組成、地質構造、岩盤狀況、滲透性狀等。壩基礎等調查結果的綜合整理，參照本節 4.3.11 說明。第四紀斷層、水庫周邊地滑等、壩體材料、臨時設施、替代道路等各項調查結果的整理，參照本節 4.4~4.7 說明。

< 建 議 >

有關設計階段調查結果的綜合整理，必要的事項與圖面如下所示。此外，綜合分析之後，認為有檢討餘地的地質相關課題，也應明列出來。

- 1) 壩基礎與水庫區的地質組成·地質構造(地質平面圖、地質縱橫面斷·水平斷面圖)
- 2) 壩基礎的岩盤狀況(主要的岩盤照片、岩盤分類基準、岩級區分圖)
- 3) 壩基礎周邊地下水分布狀況(地下水位等高線圖)
- 4) 壩基礎的透水性狀況(呂秦圖、地下水位狀況)
- 5) 現地試驗、室內試驗結果
- 6) 可能形成壩的安定與止水課題之地質狀況
- 7) 各種地質調查結果(道路沿線地質圖、露頭照片與略圖、柱狀圖·岩心照片、橫坑展開圖·展開照片、岩盤試驗結果、岩石試驗結果圖表、P-Q曲線、地下水變動圖等)
- 8) 第四紀斷層相關資料
- 9) 水庫地滑等相關資料
- 10) 壩體材料相關資料
- 11) 臨時設施與替代道路等相關資料

綜合彙整調查結果時，除了地質專家的看法之外，也應參考設計技術人員的意見，盡量將基礎岩盤的工程性質清楚地呈現出來。此外，不只壩本體的設計與施工，包括採石場、替代道路等建壩工程相關的各種條件關聯性，也都應一一確認，綜合整理。

4.2.5 施工階段

(1) 調查目的

<要 點>

施工階段的調查，乃是為了確認設計條件妥當性、取得施工與竣工後維持管理所需地質資訊，而進行壩基礎、臨時設施與替代道路等各項調查的階段。

(2) 調查內容

<標 準>

壩基礎等調查的內容，主要為地質鑽探，必要時施作調查坑調查，或現地試驗等的補充地質調查，以及施工過程中的開挖面觀察與基礎處理工程分析等。

水庫周邊地滑等、壩體材料、臨時設施與替代道路等各項調查結果，應與各工程等開挖出來的剖面觀察·描繪略圖、施工中的鑽探結果等，再度相互比對確認，必要時進行適當的應對處理。

第四紀斷層調查，原則上實施到壩軸評選階段為止，但是在選定壩軸後，又從文獻等獲得新資訊時，也應參考其內容，依本節 4.4 標準，實施適當的調查。

<建 議>

挖掘面觀察，係指詳細觀察壩體基礎開挖出來的剖面，並描繪略圖。觀察範圍，包含壩基礎與連結壩基礎到壩頂的坡面，必要時也能把臨時排水廊道採掘面等，當作評估壩基礎的參考對象。

觀察項目，有挖掘面之地質組成、斷層與裂縫等不連續面分布與性狀(斷層黏土與裂隙夾雜物狀況與強度、裂面粗滑、開口狀況與有無鬆動等)、岩級、湧水地點及其他狀況(湧水量、湧水壓、溫度與水質等)等有關壩的穩定與止水狀況。

開挖面觀察結果，整理成挖掘面地質圖與岩級區分圖(含主要的不連續面)。

採石場調查時也應進行挖掘面觀察，以瞭解是否適於作為採石場。檢討河床砂礫、開挖土石及其他工程剩餘土方之活用時，也須挖掘面觀察與材質觀察。此外，壩基礎、採石場、水庫周邊地滑、臨時設施備與替代道路等，在開挖時，也要注意觀察坡面的穩定性。

基礎處理工程分析，是指灌漿時，觀察導孔和檢測孔的鑽孔岩心，及分析注入孔等的灌漿效果。分析結果，係確認灌漿計畫的妥當性、計畫變更、完成後漏水對策工程等的基本資料，也可確認施工前調查的地質狀況（地質組成、地質構造、岩盤線）。導孔等的岩心觀察結果與壓水試驗結果，可加入地質斷面圖、岩級區分斷面圖與呂秦圖內。

整理挖掘面觀察、導孔岩心觀察、壓水試驗等結果而成的各種圖資，都應與施工前所掌握地質資料與圖資比對、檢討，並評估設計之妥當性。

4.2.6 維護管理階段

(1) 調查目的

<要 點>

竣工後的維護管理階段，係指為了取得確認壩與水庫等安全性，或實施再開發等所需地質資訊，而實施壩基礎等與地滑等各項調查的階段。

(2) 調查內容

<標 準>

維護管理階段的壩基礎等與水庫周邊地滑等調查，由於竣工或營運供水的關係，調查方法與調查地點多會受到限制，因此，除了充分運用建壩當時的調查與試驗資料，也應依據截至目前為止的蓄水狀況與觀測資料、建設前與截至目前止的變化等資料，評估地質狀況，並實施必要的地質調查。

<建 議>

水庫再開發工程中的壩體加高，雖然可增加有效蓄水量，但是考量到壩基礎荷重與水壓增加、壩基礎範圍變更或擴大、壩周邊新開挖對壩基礎與周邊坡面影響、蓄水位上升對水庫周邊地滑的影響等問題，除了充分整理分析該壩興建時的調查資料，並參考建壩時的地質調查方法（本節 4.2.2~4.2.5），適度地針對壩基礎與水庫進行地質調查。

即使不增高壩體，也應參考下列事項，充分整理、分析該當建壩時的調查資料，針對必要項目，最好也能實施適當的地質調查。

- 1) 新設或修改洩洪道等，由於壩體被切削或穿孔，可能降低壩體穩定性，因此，應以整修等所影響範圍為中心，進行適當範圍的地質調查。
- 2) 新設隧道放流設施時，為了取得隧道施工所需地質資訊，應在適宜範圍內實施地質調查，並調查隧道施工對地下水的影響等。
- 3) 為了增加蓄水量，而要在水庫區內開挖時，須在適當範圍實施地質調查，以檢討開挖區位周邊的邊坡穩定。

4) 水庫運作變更時，必要時應進行水庫周邊地滑等的調查。

為了確認一些影響壩安全的地質現象，包括異常漏水、水庫周邊地滑、大規模地震後各種現象等，應參考下列說明，適當地實施地質調查：

- 1) 異常漏水（例如，大量漏水、疑似管湧所致漏水等）時，應在下游側廣布鑽孔，調查是否有來自上游壩體等的漏水，進行追蹤試驗、注水試驗，利用基礎排水孔等調查其水壓、漏水量與變化，測定水溫與水質、透水路徑、透水量、透水速度、地下水變動、漏水濁度等，並釐清蓄水位變動與降雨量的關係，分析檢討漏水原因與路徑。
- 2) 水庫出現地滑時，應確實檢討地滑發生機制，依據地滑之調查方法（4.5）實施調查。
- 3) 大規模地震後，隨即調查水壩本體是否受損、基礎岩盤是否出現變狀、漏水量變化、漏水濁度、水庫周邊坡面有無異樣等。

水庫設施維修的目的，包括地震等地質現象造成損壞部位的補修、壩體及基礎相關設施老化對策、淤砂導致水庫機能降低對策、冷濁水對策、配合新標準的對策等；維修對象，有壩體與基礎、放流設備、儲砂壩、排砂設備與取水設備等。就以上所述，分別實施必要的地質調查。

壩竣工後的維護管理調查時，考慮到對既有壩與水庫坡面等的影響情形，而要地質調查時，最好事先和既有壩的調查・設計・施工計畫負責人、壩構造相關技術人員、地質技術人員、地滑技術人員等討論，達成共識後再著手調查。

4.2.7 土壩基礎地盤土質調查

(1) 調查方針

<要 點>

壩基礎地盤的全部或部分為土質地盤或砂礫地盤時，應以土壩基礎地盤之調查方法進行地質調查。此外，土壩基礎地盤調查的基本方針，與本節 4.1 相同。

(2) 土壩基礎地盤的預備調查

<標 準>

土壩基礎地盤的預備調查，目的是取得評估建壩可行性及評選壩址與壩軸所需資訊，因此，以本節 4.2.2 與 4.2.3 之示調查內容，再加上現地土壤探測等現地試驗與土力試驗等，進行調查。

調查範圍與精度，分別依本節 4.2.2、4.2.3 所示實施。

地質鑽探地點，原則上以岩盤基礎調查為準，鑽探深度應達到堅固的不透性地盤為止。

各鑽探孔，應實施標準貫入試驗、土力試驗、現地試驗等。

土壤現地探測，除了標準貫入試驗外，必要時，也應實施荷蘭錐貫入試驗，或瑞典式貫入試驗。

調查結果的整理方法，參照 4.2.2 與 4.2.3 所述。

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 3) JIS A 1219 標準貫入試験方法.
- 4) JIS A 1220 オランダ式二重管コーン貫入試験.
- 5) JIS A 1221 スウェーデン式サウンディング試験方法

(3) 土壩基礎地盤的設計調査

<標準>

土壩基礎地盤的設計調査，為了取得建壩相關設計與擬定施工計畫所需地質資訊，而進行土壤現地探測等的現地試驗、土力試驗等。

調查範圍與調查精度，參考本節 4.2.4 說明。

調查時，原則上採網格式調查（本節 4.2.4）。地質鑽探，原則上，乃是在可涵括壩址預定挖掘面範圍的網格點或線上設置鑽探孔位，並連續鑽鑿至能確認為堅固不透性地盤或岩盤為止。若壩座的厚度薄等特殊條件時，則在原設定調查範圍外也需調查。

各鑽探孔應實施標準貫入試驗、土力試驗、現地透水試驗。

在鑽探孔之間，實施荷蘭錐貫入試驗或瑞典式貫入試驗。

調查結果的整理方法，準用本節 4.2.4 說明。

4.3 壩基礎等的調查

4.3.1 調查方針

<要點>

壩基礎等的調查，應配合壩建設計畫各階段的調查目的，適宜地組合以下各項調查與試驗。各調查與試驗結果，應加以彙整並綜合分析。

- 1) 資料調查
- 2) 地形調查
- 3) 地表地質調查
- 4) 物理探測
- 5) 地質鑽探
- 6) 調查坑調查
- 7) 地下水調查
- 8) 岩盤的現地試驗
- 9) 岩石的室內試驗

4.3.2 資料調查

<標準>

資料調查，目的在瞭解壩計畫區域整體地形與地質概要，擬定後續的地質調查方針。標準的調查方法，是蒐集並整理分析航空照片、地形圖、地質圖、地質相關資料與文獻、溫泉與礦山等的地質相關資料與文獻、地震與地滑等相關資料與文獻。

4.3.3 地形調查

<標準>

地形調查，標準做法，先以航空照片與地形圖判釋，篩選出對建壩工程須注意的地形，例如，鞍部、山脊、崩塌地形、地滑地形、岩盤重力變形地形、崖錐地形、斷層地形等，然後赴現地查核；必要時，亦可利用光達影像判釋地形。第四紀斷層調查與水庫周邊地滑等調查，分別依本節 4.4、4.5 說明進行。

各種層階地形常反映出地質組成與地質構造，藉由地形即可瞭解概略的地質狀況。

彙整調查結果成地形判釋圖等，以供作後續研擬各調查計畫、分析其他調查結果等的基礎資料。

4.3.4 地表地質調查

<標準>

地表地質調查，基本上應調查山腹邊坡、溪流與河床、人工坡面等的露頭與轉石等，以瞭解大範圍地區的地質組成與地質構造，提供研擬各種調查計畫、其他調查結果的地質分析等之參考。此外，露頭較少的地點，或須高精度調查地點，應開挖槽溝進行明溝調查。

依據地表地質調查、資料調查、地形調查等的結果，確實檢討壩基礎相關的重要地質要素，並綜合整理成地質平面圖與地質縱斷面圖等，以供作後續研擬各種調查計畫，及地質判釋分析其他調查結果的基礎資料。

<建議>

地表地質調查的調查項目，如下所示：

- 1) 地質性狀：岩石種類、產狀、成因、接觸關係（整合、不整合、貫入、斷層接觸等）、地質構造（褶曲、同斜構造、斷層等）、地質時代等
- 2) 地質工程性狀：不連續面與弱層（斷層、破碎帶、夾泥薄層、地滑黏土、層理、片理、節理、裂隙等）分布、方向性、連續性、頻率、開口性、夾雜物質等、岩盤風化與變質、未固結堆積物種類與性狀、岩盤的工程性質（硬度、透水性）等
- 3) 地下水相關資訊：湧水與滲水、管湧等
- 4) 與地質有關的地形資訊：階地、地滑、崩塌、土石流、崖錐等坡面變動地形、鞍部與山脊、緩坡面與陡坡、遷急線與遷緩線、段差、凹地與濕地等
- 5) 可能反映地質現象的植生等

此外，彙整地表地質調查結果時，最好將記錄在地形圖上的調查路線、調查地點（露頭地點、試料採取地點）等，繪製成路線地質圖，以讓野外調查結果、調查密度、地質圖製作依據等更為明確。

4.3.5 物理探測

<標準>

物理探測，一般是以震波探測與地電阻探測法，推定堆積物與岩盤性狀、地質構造、地下水狀態等。依所要取得之物性值，可適宜地利用其他不同的物理探測方法。

物理探測所測得堆積物與岩盤物理性質，雖然與地層區分、岩盤區分等有關，但是其對應關係與調查精度，會隨地質條件與探測條件而異，因此，依據物理探測資料所推測的結果，必須再利用地質鑽探等直接調查的資料來確認。

< 建議 >

物理探測方法，說明如下：

1) 震波探測

震波探測，原則上使用者折射法。調查時，應依據調查目的、調查階段、地形與地質條件等，布設最適當的測線、發震點間隔與受震點間隔，並選擇適當的分析方法。

依據震波探測結果，整理成走時曲線圖與速度層斷面圖，藉此推測岩盤硬度、裂縫·破碎·固結·變質·風化之程度、地層境界與厚度、斷層·破碎帶·軟弱層等位置、寬度與厚度等等。

2) 地電阻探測

地電阻探測，應依據調查目的、調查階段、地形與地質條件等，使用最適當的調查方法，配置測線·測點位置·電極間隔。

依據地電阻探測結果，整理出比電阻斷面圖，藉以推測地質組成與地質構造、風化與變質狀況、地下水狀況等。

3) 其他物理探測

若震波探測與地電阻探測仍無法取得充分的資訊時，則考慮其他物理探測方法。其他物理探測方法，包括從空中或地表實施的電磁探測、地磁探測、重力探測、放射性探測、地溫探測、遙感探測等，以及利用鑽探孔探測分析震波、比電阻、電磁波等的跨孔影像剖面法(Geotomography)等。該等方法，比起震波探測與地電阻探測，在土木工程的應用案例少，因此，使用時，應比較檢討各種探測方法之探測特性，依據調查目的、調查階段、地形與地質條件等，明確設定所需求的資訊及精度等，選用最佳方法與探測條件、分析條件。

< 參考資料 >

物理探測適用條件詳細說明，可參考下列資料。

- 1) (社)物理探測学会 標準化検討委員会：新版 物理探測適用の手引き－土木物理探測マニュアル 2008－，2008.

4.3.6 地質鑽探

< 標準 >

地質鑽探，係為了提高地質調查精度，並配合地表地質調查與物理探測結果，確認地質分布與地質構造，而進行地質性狀與地質工程性狀等的調查。此外，鑽探孔可供透水試驗等各種孔內試驗（本節 4.3.9(5)），鑽取的岩心可當作岩石力學室內試驗（本節 4.3.10）之試樣。

鑽探調查，主要是採取岩心。應依據調查目的，並參考地表地質調查與物理探測結果，決定鑽探的規格、配置、深度等，以取得調查所需良質岩心。

工程地質調查的鑽探作業，原則上使用旋轉式鑽機。

< 建議 >

地質鑽探的孔徑（岩心鑽頭外徑）標準尺寸為 66mm，以雙層岩心管鑽取岩心。鑽探時，應盡可能採取擾動較少的優質岩心，以供推定地盤狀態。尤其對於破碎帶與裂隙多的地質、黏質土成分較少的軟質地質，以及須詳細觀察地滑土塊及滑動面時，可在循環水中加入介面活性劑或增黏劑，或使用較大口徑鑽機。

鑽探結果，應整理成作業日報與柱狀圖。此外，所採取岩心應全部妥善保存，直至整個建壩工程結束為止。

只靠觀察岩心很難掌握岩層與不連續面的走向、裂縫開口度等，因此調查高連續性不連續面分布之地質構造、岩盤鬆動區域、水理地質構造等時，可在鑽探調查的同時，施做孔內攝影，以提高調查效率。此外，利用鑽孔進行一些現地試驗時，有時會受到鑽孔配置與規格的限制，因此鑽探前即應事先妥善規劃。

< 參考資料 >

有關建壩工程的地質鑽探細節，可參考以下資料。

- 1) 中村康夫：ダムにおけるボーリング・調査坑・トレンチ調査(1)~(5)，ダム技術，No.256-260，2008.

4.3.7 調查坑調查

< 標準 >

調查坑調查，係為了提高地質調查精度，確認踏勘與鑽探所知的地質性狀與地質工程性狀，及施做現地試驗、採取試樣等，乃依據地表地質調查、物理探測、鑽探等結果，概略地瞭解地質組成與地質構造後，挖掘橫坑進行調查，必要時，也可挖掘斜坑、豎坑、明挖溝槽等，調查地質。調查坑的種類、位置、深度等，依調查目的、調查階段、地形與地質條件而定。

< 建議 >

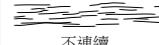
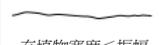
調查坑調查，除了調查坑（橫坑、斜坑、豎坑）調查外，也有明挖溝槽(Trench)調查與簡易的表土剝除調查與土坑(Pit)調查等方法，最好依調查目的等，選擇適當者進行調查。

橫坑，乃是由坡面挖掘水平的調查坑，常應用在壩址調查。豎坑，主要是在河床或寬闊的平地，垂直向下挖掘調查坑，通常不易挖掘很深的豎坑，尤其是挖掘到地下水位以下之處，得先做好排水措施。

調查坑調查，應盡力解決地表地質調查與地質鑽探所難以掌握的事項。

調查坑施工時，應挖掘成不會妨礙觀察與試驗的斷面（通常為高 2m 左右，底寬 1.5m 左右的長方形坑道），且盡量限制火藥量，避免周邊岩盤鬆動；盡量減少支保、板樁等器材，以免妨礙觀察地質；另外，還應清除坑壁的危石與粉塵。

表15-4-1 弱層型態分類（佐佐木等，2008）

弱層類別	露頭・橫坑調查 尺寸 數~數10m左右→	現地試驗 尺寸 0.5~1m左右→	特 徵	弱層舉例
A	 不連續	 不連續	個別不連續面的連續性小於現地試驗尺寸。除了具備現地試驗尺寸的不連續面抗剪強度，也具備不連續部（岩盤部）強度。	裂隙密集帶
B	 不連續	 連續	個別不連續面的連續性大於現地試驗尺寸。露頭、橫坑調查尺寸可有較高的不連續部（岩盤部）強度，現地試驗尺寸則無法達到需求的強度。	節理
C	 充填物寬度 ≤ 振幅	 充填物寬度 ≤ 振幅	不含充填物或充填物寬度小於凹凸之振幅，現地試驗尺寸可期待有較好的壁面咬合效果。	節理 裂縫 縫層(Seam)
D	 充填物寬度 ≤ 振幅	 充填物寬度 > 振幅	露頭、橫坑調查尺寸充填物寬度小於起伏之振幅，可有較好的壁面咬合效果；現地試驗尺寸充填物寬度大於凹凸振幅，咬合效果較差。	縫層 斷層
E	 不均質	 均質或層狀	充填物寬度較厚，由不均質的數種類充填物組成。露頭、橫坑調查尺寸隨充填物組成，達到較高的強度，現地試驗尺寸則明顯受局部充填物強度影響。	斷層
F	 均質或層狀	 均質或層狀	充填物寬度較厚，由均質或層狀之充填物組成。只具備單一種類充填物之抗剪強度。	斷層 夾雜軟岩層 非熔結層 境界層

<參考資料>

水壩弱層・不連續面調查與調查坑調查的有關細節，可參考下列資料：

- 1) 佐々木靖人，寶谷周，矢島良紀：ダム基礎の弱層分類と強度評価手法，ダム技術，No.256，pp.35-48，2008.
- 2) JGS 3821-2006 岩盤不連續面分布の幾何学的情報に関する調査方法.
- 3) 中村康夫：ダムにおけるボーリング・調査坑・トレンチ調査(6)~(8)，ダム技術，No.261-263，2008

4.3.8 地下水調查

<標 準>

地下水調查，係為了瞭解壩基礎岩盤與水庫周邊地盤的水文地質構造，乃利用鑽探孔，調查地下水水位及其變動、地下水流動、含水層等，並依據本章 4.3.9 所示，施做透水試驗。

為了瞭解各鑽探孔鑽鑿深度與鑽鑿當時地下水位之關係，除了要觀察鑽鑿中的孔內水位之外，重要地點的鑽探孔，在鑽鑿完成後，仍須持續觀測孔內水位。

若要掌握地下水位變動，則須長期觀測。

此外，為了檢討壩基礎岩盤等的浸透流對策與基礎處理計畫，應掌握壩軸附近與壩上下游方向、水庫周邊地盤的三維水文地質構造。

<建 議>

施鑽之際，若考慮到將來需要觀測孔內水位時，則鑽孔最好是設計為能量測全孔地下水位的狀態。

掌握地下水流向的方法，有利用數孔的孔內水位畫出流線、運用數孔鑽孔進行追蹤試驗、以單孔施做孔內流向試驗等。掌握地下水流速的方法，則有運用數孔鑽孔進行追蹤試驗、以單孔實施孔內流速試驗（運用孔內微流速儀等）。若地盤內有數層含水層時，可由鑽孔時的孔內水位變化情形得知，或使用多段式水壓計，同時觀測數層地下水位。此外，也可自地表調查壩址與水庫周邊表流水的流出狀況與湧出狀況等。

除此之外，一般性地下水調查，參照第2章 水文·水理觀測 第6節 地下水觀測。

<參考資料>

壩工程有關的地下水調查細節，可參考下列資料。

- 1) 土木学会：ダム建設における水理地質構造の調査と止水設計，p.141，丸善，2001.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，P.889，2004.

4.3.9 岩盤現地試驗

<標準>

岩盤現地試驗，係指進行變形試驗、剪力試驗、透水特性試驗、鑽孔內試驗、灌漿試驗等，以取得基礎岩盤特性（變形係數、彈性係數、抗剪強度、透水性），提供壩工設計參考。

(1) 變形試驗

<標準>

變形試驗，乃是在壩基礎岩盤代表性地質與岩級分布地點，以適當試驗方法求取岩盤特性（變形係數、彈性係數等），作為檢討岩盤變形性之參考。

<建議>

變形試驗方法，有千斤頂法（平板載重試驗）、輻射千斤頂法（Radial jacking test）、孔內載重試驗法等。其中，千斤頂法較容易實施，且處理範圍較廣，較常使用；孔內載重試驗可在任意深度實施試驗，常當作輔助方法，故應針對調查目的，選擇適當的試驗方法。

平板載重試驗，為了提高試驗結果可靠度，最好在同一地質內的各個岩級地點，各進行3次以上試驗。此外，孔內載重試驗，不像平板載重試驗那樣可直接確認試驗範圍，且容易受孔壁狀況影響，最好多做幾次試驗。

變形試驗，常須以少數試驗結果判定全體地質之代表值，故應慎重選定試驗位置；試驗前、後，均須詳細觀察試驗面，並再度確認岩級區分。

<相關通知等>

- 1) 土木学会岩盤力学委員：原位置岩盤試験法の指針，土木学会，2000.
- 2) JGS 3521-2003 剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法.

(2) 剪力試驗

<標準>

現地岩石剪力試驗，主要是為了求得黏著力與摩擦係數，而在壩基礎岩盤代表性地質與岩級分布地點，運用適宜方法進行剪力試驗。

<建議>

岩體的剪力試驗常用方法，有混凝土剪力試驗與塊樣剪力試驗兩種。混凝土剪力試驗，是在整形好的地盤上灌製混凝土塊，針對混凝土塊接觸面正下方的岩盤進行剪力試驗；塊樣剪力試驗，則將切割成塊狀的岩盤上方襯砌混凝土，進行岩塊底部剪力試驗。這兩種試驗方法的適用性，隨岩盤狀況不同而異，選用時須留意。

為了提高試驗結果之可靠度，最好在同一地質內的各個岩級處，各4地點以上為一組，進行試驗。

剪力試驗，常須以少數試驗結果判定全體地質之代表值，故應慎重選試驗位置；試驗前、後，均須詳細觀察試驗面，並再度確認岩級區分。

重力式混凝土壩，若在其基礎正下方廣布低角度斷層時，應針對會影響壩穩定性的弱層，實施剪力試驗，並依弱層性質狀況，適當地評估強度。

<相關通知等>

- 1) 土木学会岩盤力学委員：原位置岩盤試験法の指針，土木学会，2000.
- 2) JGS 3511-2003 岩盤のせん断試験方法.
- 3) JGS 2541-2008 岩盤不連続面の一面せん断試験方法.

(3) 透水試驗

<標準>

透水試驗，係為了瞭解現地的岩盤透水性，以決定壩基礎岩盤止水性的改良方法與止水的改良範圍，基本上是施做呂秦漏水試驗(Lugeon test)。

<建議>

呂秦漏水試驗，係在鑽孔內分成數區段依序進行試驗，試驗時，以一定壓力注水，然後依注入壓力與注入量關係，評估該區段岩盤透水性（呂秦值）。呂秦漏水試驗方法，有單封塞法與雙封塞法兩種。單封塞法，是在預定的試驗區間（通常為5 m）上端架設封塞(Packer)，分幾個階段將水注入到達孔底，量測每次壓力之注入量；雙封塞法，是試驗區間上下兩端都架設封塞。一般而言，下部封塞漏水造成的誤差小，因此建議使用單封塞法。

臨界壓力較小的地盤，可使用孔內壓力感測器，實施孔內靜水壓透水試驗。此外，認為較均質且多孔質的軟質地盤，除了呂秦漏水試驗外，追加現場透水試驗等，掌握其滲透係數。

呂秦漏水試驗的臨界壓力小而有滲透破壞之虞的地盤，必要時可實施滲透破壞抵抗性的調查與試驗。

呂秦漏水試驗的細節，參照「ルジオンテスト技術指針・同解説」。

<相關通知等>

- 1) (財)国土技術研究センター：ルジオンテスト技術指針・同解説，大成出版社，2006.

(4) 孔内試験

<標準>

孔内試験，係為了瞭解以岩心無法獲得的岩層走向、開口量等的基礎岩盤地質構造、力學特性、地下水流動特性等資訊，乃選用適當方法在鑽探孔內進行試驗。

<建議>

孔内試験，除了呂秦漏水試驗之外，較常用的試驗方法還有如下所述，但必要時也可使用其他方法。另外，地下水流動有關的孔内試験，請參照本節 4.3.8。

1) 孔内攝影

將攝影機放入鑽孔內，觀察鑽孔孔壁。攝影機有單點式影像（側視型、前視型等）與錄影型。單點式影像型，較適合觀察細部與即時動態觀察；錄影型，則可觀察鑽孔內四周情形，可測定到岩層層面、裂隙等走向傾斜、開口量。

2) 電阻井測

測定地盤的比電阻或自然電位，以求出地層厚度、含水層、難透水層、孔隙率、飽和度等。電阻井測只適用於地下水位以下部分，而且在孔内具有套管的部分，亦無法取得正確的資料。

3) 震波(PS)井測

震波(PS)井測可求出 P 波與 S 波等地震波傳播速度，常用來調查地盤的物理性質。掌握彈性波係數就能進一步算出動態柏松比 (Dynamic Poisson' ratio) 與動態彈性係數(Dynamic elastic modulus)等，還可從波形記錄瞭解地盤中的震波衰減特性。

4) 其他井測法

井徑井測、溫度井測、密度井測、中子井測、JFT（透水試驗法）等。

5) 孔内載重試驗

求取力學常數的各種孔内載重試驗法。

<相關通知等>

- 1) JGS 1121-2003 地盤の電気検層方法.
- 2) JGS 1122-2003 地盤の弾性波速度検層方法.
- 3) JGS 3431-2004 岩盤のプレッシャーメータ試験方法.
- 4) 土木学会岩盤力学委員：原位置岩盤試験法の指針，土木学会，2000.

(5) 灌漿試驗

<標準>

灌漿試驗，係於正式施工前，為了取得基礎改良特性與灌漿規格等相關資料，以供擬訂基礎灌漿處理計畫依據，而須進行的試驗。

<建議>

灌漿試驗時，應先預估灌漿改良之目標、灌漿材料、灌漿孔間隔、注入壓力、施工法等。灌漿試驗乃是以中央內插法進行，而且最好同時量測岩盤變位。

灌漿效果，通常依據呂秦漏水試驗所取得呂秦值來判定。除了呂秦值，有時還得考慮水泥漿注入量。一般進行灌漿時，都以壓水試驗推算呂秦值，因此，最好事先整理好呂秦漏水試驗結果與壓水試驗結果的關係。

提高注入壓力，雖然會增加注入量，也會擴大注入範圍，但是可能導致岩盤局部破壞，或岩盤上浮，應注意。

有關灌漿的細節，參照《グラウチング技術指針・同解説》。

<相關通知等>

1) (財)国土技術研究センター編集：グラウチング技術指針・同解説，大成出版社，2003.

4.3.10 岩石室內試驗

<標準>

岩石室內試驗，是掌握岩盤工程性質方法之一，以構成岩盤材料的岩石為試體，求取岩石基本性質。岩石室內試驗，包括求取岩石與礦物性質、物理性質、力學性質、水理學性質、化學性質、耐久性等的試驗，依需求選用適當者進行試驗。

(1) 試樣採集與試體處理

<建議>

岩石試驗的試樣，以鑽探岩心、調查坑、露頭所採集岩樣為主。

採集試樣時，應盡量採取能代表岩盤性質之試樣。

硬岩，通常以岩心處理成可供試驗的試體。軟岩若無法取得完整岩心時，則採取塊狀試樣(Block sampling)，在試驗室處理成試體。

所採集試樣，在進行試驗之前，都應保持採樣當時的狀態，妥善保管，避免受到振動。

試驗之前，應先觀察、記錄試體的岩石狀態（岩性、岩質等），以供試驗結果參考。

<相關通知等>

1) JIS M 0301-1975 岩石の試験片作成

(2) 岩石・礦物試驗

<建議>

為了取得岩石的各種岩石學與礦物學性質（岩性・岩石組織・粒度分布・組成礦物種類與含量等），可依需求分別進行適當的試驗。

岩石的岩石與礦物特性和岩石的物理、力學、化學性質、耐久性等關係密切。礦物學性質，係指該岩石風化、熱水變質等變質狀況，或是具有會使岩石的物理・力學性質等劣化的黏土礦物等。

主要的岩石與礦物性質試驗方法，如表15-4-2所示。

表15-4-2 主要的岩石與礦物特性試驗方法

性質	試驗方法
岩性	岩石薄片的偏光顯微鏡觀察
岩石組織	同上
粒度分布	同上
組成礦物種類	同上，X射線繞射分析，示差熱分析
組成礦物含量	岩石薄片的偏光顯微鏡觀察，X射線繞射分析

(3) 物理特性試驗

<建議>

為了取得岩石的各種物理性質（密度、含水比、有效孔隙率、吸水率、P波速度、S波速度、動彈性係數、動柏松比等），則可依需求進行適當的試驗。

岩石的物理性質與岩石力學性質、耐久性等關係密切。

有關岩石物理性質試驗方法，如表15-4-3所示。

表15-4-3 主要的岩石物理性質試驗方法

性質	試驗方法
自然狀態、強制乾燥狀態、強制濕潤狀態的密度	密度試驗
吸水率與有效間隙量	吸水率與有效孔隙率試驗
動態彈性係數、動態柏松比	超音波速度測定

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 2) JGS 2132-2009 岩石の密度試験方法.
- 3) JIS A 1110:2006 粗骨材の密度及び吸水率試験方法.
- 4) JGS 2134-2009 岩石の含水比試験方法.
- 5) JGS 2132-2009 岩石の密度試験方法.
- 6) KDK S 0501-1968 岩石の密度・含水比・飽和度・有効間げき率・吸水率試験方法，建設省，1968.
- 7) JGS 2110-2009 パルス透過法による岩石の超音波速度測定方法.

4) 力學特性試驗

<建 議>

為了取得岩石的各種力學性質（單軸壓縮強度、靜態彈性係數、靜態柏松比、抗剪強度、摩擦角、抗張強度等），可依需求進行適當的試驗。

比對不同試樣間的岩石力學特性時，必須考慮到各個不同試樣的物理特性。因此，供為力學特性試驗的試體，也應進行物理特性試驗。

主要的岩石力學特性試驗方法，如表15-4-4所示。

表15-4-4 主要的岩石力學性質試驗方法

性 質	試驗方法
抗剪強度	單軸壓縮試驗、三軸壓縮試驗、直接剪力試驗
抗張強度	巴西抗張裂力試驗、點荷重試驗

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 2) JGS 2521-2009 岩石の一軸圧縮試験方法.
- 3) JGS 2531-2009 岩石の非圧密非排水（UU）三軸圧縮試験方法.
- 4) JGS 2532-2009 軟岩の圧密非排水（CU）三軸圧縮試験方法.
- 5) JGS 2533-2002 軟岩の圧密非排水（CUバー）三軸圧縮試験方法.
- 6) JGS 2534-2009 岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法.
- 7) JGS 2541-2008 岩盤不連続面の一面せん断試験方法.
- 8) JGS 2551-2009 圧裂による岩石の引張り強さ試験方法.
- 9) JGS 3421-2005 岩石の点載荷試験方法.

(5) 透水試驗

<建 議>

若需瞭解岩石透水特性與滲流破壞抵抗性，應依目的選擇適當的透水試驗方法。

透水試驗，有輻射水流法、單一水流法等試驗方法，應考量所設定的地下水流動與岩石異方性等，選用適當試驗方法及試驗條件。

(6) 化學特性試驗

<建 議>

若需瞭解岩石的化學性質時，應依其目的，考量岩石的性質及其所處環境等，進行適當的試驗。

(7) 耐久性試驗

<建議>

若須瞭解岩石的耐久性時，應依其目的，考量岩石的性質及其所處環境等，進行適當的試驗。

壩體材料、開挖坡面等，除了要求力學性質，還須具備耐久性。岩石耐久性會隨岩石性質與其所處環境而有明顯差異，因此，須依該等狀況選擇適當的耐久性試驗。

凍結融解試驗，乃求取硬岩耐久性的代表性方法，係讓岩石試樣內外反覆凍結融解，並量測試驗前與試驗期間各種物理量的變化值，作為判定耐久性的依據。

消散試驗，乃是求取軟岩耐久性的主要方法，是讓烘乾的試體泡水，反覆實施，並量測過程中出現的形狀變化與吸水量，判斷岩石的消散耐久性。

磨損試驗，可用來瞭解粗骨材與石材抵抗磨損能力的試驗。

比對不同試樣間的耐久特性時，必須考慮到各個不同試樣的物理特性。因此，供為耐久特性試驗的試體，也應進行物理特性試驗。

<相關通知等>

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.
- 2) JIS A 1148:2001 コンクリートの凍結融解試験方法.
- 3) JGS 2124-2009 岩石のスレーキング試験方法.
- 4) JGS 2125-2009 岩石の促進スレーキング試験方法.
- 5) JIS A 1121:2007 ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法

4.3.11 壩基礎等地質調査成果彙整

(1) 成果彙整方針

<要點>

壩基礎等地質調査所取得資料，應綜合檢討並彙整出壩基礎的地質、工程地質、地下水、滲透等調查與試驗成果，並繪製各種圖面。製作各種圖面時，應標明地質露頭、鑽孔、調查坑等位置。

地質調査成果彙整，係指依據資料調查、地形調査、地表地質踏査、物理探測、地質鑽探、調査坑等的調査結果，用地質學方法，將分布於調査區域的地層、岩石、構造等，彙整為地質圖，供作岩級區分圖與呂秦圖(Lugeon map)等的基礎資料。

工程地質調査成果彙整，是依據岩盤分類基準，統一區分壩址岩盤的岩級，彙整為岩級區分圖，供作壩工設計的基本資料。

地下水調査成果彙整，主要是綜合整理壩址及水庫周邊地下水狀況，作為檢討壩基礎處理計畫及壩穩定性等問題的基礎資料。

滲透試驗成果彙整，係根據地質狀況與透水試驗結果，釐清水文地質構造，繪製呂秦圖等，同時掌握硬岩裂縫頻率與開口量，或是軟岩風化程度與岩石組織粒子間疏密度等的關聯性，綜合整理壩基礎岩盤的滲透狀況，提供檢討壩基礎處理計畫的參考資料。

(2) 地質調查成果彙整

<建 議>

壩基礎等地質調查時，依壩建設計畫各階段的目的，以下列方法，將地質調查結果整理出地質成果。

地質成果彙整，包括整理地質組成、層序、地質構造、斷層與龜裂、風化、熱水變質等資料，還須繪製地質平面圖、地質斷面圖（地質縱斷面圖、地質橫斷面圖、地質水平斷面圖）。此外，有時還得製作裂隙密度分布圖、風化·變質區分圖等；這些圖面可根據地表地質調查、鑽探、調查坑等調查結果，加以彙整製作。

地質平面圖與地質斷面圖等，係製作壩工設計用之岩級區分圖與呂秦圖的基礎資料。

地質平面圖，係以地質學方法，將地層分布、地質構造等標記在地形圖上。此外，壩址周邊出現崖錐堆積等表層覆蓋物時，為了明確掌握壩基礎與止水基礎之地質狀況，必要時應製作挖除表層覆蓋物後的地質平面圖。

地質斷面圖，有地質縱斷面圖、地質橫斷面圖、地質水平斷面圖三種。通常做法是沿本節 4.2.4(4) 所示網格，製作地質斷面圖。

綜合整理地質調查成果時，還要將供作繪製地質圖依據的現地調查路線地質草圖、斷層或裂隙的一覽表或立體投影圖等資料，簡單明瞭地整理出來。

(3) 工程地質成果彙整

<建 議>

壩基礎地質調查，依壩建設計畫各階段目的，從壩基礎的荷重觀點，以下列方法，進行基礎地盤的岩盤分類，進而製作岩級區分圖等。

各壩址都應訂定岩盤分類基準，以評估岩盤的工程性質及分類（岩級區分），並製作岩級區分圖與各岩級等高線圖。岩盤分類串聯地質調查、現地試驗及設計值等的作業是相當重要，也是本節 4.2.4(5) 調查結果彙整的主要內容。

1) 岩盤分類基準

岩盤分類，係採用與工程性質有關的變形性與強度為分類要素，就每個要素劃分等級，然後再加以組合成岩盤分類基準。

岩盤分類基準，應就岩石的軟硬、裂隙間隔、裂隙狀態等的分類要素劃分等級，然後組合成最能呈現出各個壩址岩盤工程性質的分類基準。岩盤分類，係以肉眼觀察及地質槌敲打岩心或調查坑岩盤的結果為主，並參考地震波探測的地盤震波速度、以往類似性質的壩址岩盤分類案例等，作為分類依據。

2) 岩級區分圖

將岩心與調查坑調查判定的岩盤分類結果標記在地質斷面圖上，整合地質組成、地質構造、及其他各項調查結果，充分檢討後，繪製成能呈現整體基礎岩盤的岩級區分圖。岩級區分圖應該也要在地質圖上能呈現出來，但是地質構造複雜而使地質斷面圖太過煩雜時，可簡化地質斷面圖成只剩覆蓋層與斷層破碎帶，並套疊上岩級區分圖即可。

依據完成的岩級區分圖，可畫出岩級最淺部的等高線圖，提供壩工設計的重要參考。

<舉 例>

岩級區分的例子，如表 15-4-5~10 所示。其中，表 15-4-5、6 是岩石軟硬、裂隙間隔、裂隙狀態等三種要素的分級與組合方法（土研式）的案例；表 15-4-7、8 為土研式分級及組合方法的一般化案例（土研式共通岩級區分案）；表 15-4-9 是描述式岩級區分（田中式、電中研式）案例。其他還有不少的岩盤工程分類方法，但是各個地質區的岩盤性狀與工程特性都有很大差異，且有時會隨著壩工的規模與岩盤性狀不同，而需要不同粗細的岩級區分，因此，分類要素與岩級區分基準，基本上應依壩址的個別狀況量身製作。

單軸壓縮強度低於 $9.81 \sim 19.6 \text{ MN/m}^2$ 的軟岩，若無法適用前述岩盤分類法時，則須著重在岩石硬度的岩級區分。此時，為了提高判斷岩石硬度之精度，可進行施密特錘試驗、點荷重試驗、單軸壓縮試驗等現地與室內試驗；這些試驗的測定值，會因岩盤含水狀況、岩質等，出現很大的差異，因此試驗時，應注意測定條件與適用之岩質。

具有張口裂隙的疏鬆岩盤，多半不適用於作為壩基礎，一般的岩盤分類基準也不適用於該類岩盤的評估，因此，針對張口裂隙與疏鬆狀況，須另外訂定岩盤區分方法（表 15-4-10），以與一般的岩盤有所區別。此外，對於脆弱而有滲透破壞之虞的地盤、具有極高透水性問題的地盤等，不只承載有問題，止水也有問題，為了清楚辨別這類地盤，應使用其他地岩盤分類基準，或另行必要的性狀區分。

表15-4-5 岩級區分（A）：要素區分

(a) 下筌壩（花崗岩・安山岩的案例）			(b) 裾花斷面（凝灰角礫岩的案例）		
區分要素	岩級	內 容	區分要素	岩級	內 容
岩塊硬度	A	堅 硬 ^{註1)}	硬 度	A	堅 硬
	B	局部堅硬，局部軟質 ^{註2)}		B	中度堅硬或軟硬夾雜
	C	整體偏軟質 軟 質 ^{註3)}		C	軟 質
裂隙間隔	I	50 cm 以上	裂隙間隔 ^{註4)}	I	50 cm 以上
	II	50~15 cm		II	50~15 cm
	III	15 cm 以下		III	15 cm 以下
裂隙狀態	a	密閉	角礫量比 ^{註5)}	a	50%以上
	b	張口狀		b	50~20%
	c	夾雜黏土		c	20%以下

註：1. 地質錘敲擊會產生火花

2. 地質錘用力敲擊一次即產生裂隙

3. 地質錘敲擊會崩裂

4. 此處的數值只是舉例，隨現場條件而異

5. 大約 1m^2 之中的面積比

表15-4-6 岩級區分 (A): 岩盤的評估基準

評估分級	評 分	岩 級 的 組 合
[A]	良 好	A I a A I b B I a B I b
[B]	大致良好	A II c A II a A II b B I c B II a B II b
[C]	大致良好	C I a
[D]	不 良	A II c C I b C I c C II a C II b 剩餘的組合

表15-4-7 岩級區分 (B): 依要素區分 (日本建設情報綜合中心、1999)

符號	軟硬區分	符號	岩心形狀	符號	裂隙狀態區分
A	堅硬、地質錘敲打卻不易裂開。	I	長50cm 以上的棒狀岩心	a	裂隙密閉或分離，沿著裂隙並沒有風化與變質現象。
B	硬、地質錘敲打發出金屬聲音。	II	長50~15cm 的棒狀岩心	b	沿著裂隙有風化與變質現象，但岩片本身幾乎沒有風化與變質。
C	中硬、地質錘敲打容易裂開。	III	長15~5cm 的棒狀岩心	c	沿著裂隙兩側的岩石已風化與變質而變軟。
D	軟、地質錘敲打即碎裂	IV	長5cm 以下棒狀~片狀岩心、且可辨認出部分岩心外圍。	d	無法辨認出裂隙的角礫狀、砂狀、黏土狀的岩心。
E	極軟、土砂狀、黏土狀。	V	主要是角礫狀。		
		VI	主要是砂子狀。		
		VII	主要是黏土狀。		
		VIII	無法取得岩心。含鑽屑(記事欄內註明理由)		

表15-4-8 岩級區分例 (B): 土研式共通岩級區分案 (森・脇坂・佐佐木・阿南、2007)

岩石	硬度A				硬度B				硬度C				硬度D			
	狀態a	狀態b	狀態c	狀態d	狀態a	狀態b	狀態c	狀態d	狀態a	狀態b	狀態c	狀態d	狀態a	狀態b	狀態c	狀態d
階級 I	B	B	CH	(D)	CH	CH	CM **	(D)	CM	CM	CL	(D)	CL	CL	D **	(D)
階級 II	CH	CH	CH *	(D)	CH	CM **	CM	(D)	CM	CM	CL	(D)	CL	CL	D **	(D)
階級 III	CH	CH	CH *	(D)	CM	CM	CM	(D)	CL **	CL	CL	(D)	D **	D **	D	(D)
階級 IV	CH *	CH *	CM *	(D)	CM	CM	CL	(D)	CL	CL	D **	(D)	D **	D	D	(D)
階級 V	(CM)	(CM) *	(CL)	(D)	(CL)	(CL)	(CL)	(D)	(CL)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)

() : 本檢討所未使用之組合
 * 視為「共通岩級」而提高一等級的三要素組合
 ** 視為「共通岩級」而降低一等級的三要素組合

表15-4-9 岩級區分（C）描述式岩級區分（田中式）（田中、1971）

名稱	特 徵
A	岩石非常新鮮，造岩礦物與粒子完全沒有風化與變質。裂隙與節理非常密閉，沿著裂面完全無風化痕跡。 以地質錘敲打的声音，清澈響亮。
B	岩質堅硬，無張口(即便只有1mm)的裂隙與節理。但局部造岩礦物與粒子多少有風化、變質等現象。 以地質錘敲打的声音，清澈響亮。
C _H	造岩礦物與粒子，除了石英之外，已受到風化作用，但岩質仍相當堅硬。 一般多會被褐鐵礦污染，節理或裂隙間的黏著力稍減弱，以地質錘用力敲打，裂隙邊緣岩塊剝落，剝落面殘留薄層黏土質物質。 以地質錘敲打的声音，有點混濁。
C _M	造岩礦物與粒子，除了石英之外，已受到風化作用，岩質多少變得比較軟。 節理或裂隙之間黏著力多少已降低，用地質錘以普通力道敲打，裂隙邊緣岩塊剝落，剝落面殘留黏土質物質。 以地質錘敲打的声音，有點混濁。
C _L	造岩礦物與粒子已風化，岩質變軟。 節理或裂隙之間黏著力減弱，地質錘輕打，裂隙邊緣岩塊剝落，剝落面殘留黏土質物質。 以地質錘敲打的声音，低沉。
D	岩石礦物與粒子已明顯風化，整個岩質非常軟。 節理或裂隙之間幾無黏著力，地質錘輕微敲打，即崩裂、掉落。剝落面殘留黏土質物質。 以地質錘敲打的声音，非常低沉。

表15-4-10 鬆散岩盤的性狀區分方法（佐佐木等、2005）

<p style="text-align: center;">岩質疏鬆而致張口或錯動的裂隙定義草案</p> <p>張口裂隙：裂隙(乃至於弱層)內部主要由空隙(水)構成者。裂隙內被流入黏土*所充填者，原則上也視為一種張口裂隙，但應標示為「張口裂隙(流入黏土)」。</p> <p>錯動裂隙：沿著裂面(乃至於弱層)出現錯動變位的現象者。嚴格上是和斷層的變形模式相同，但形成機制與地殼變動造成的斷層(構造斷層)不同，而是伴隨重力變形等非構造性變動而產生的錯動變位。</p> <p>* 流入黏土：地下水所搬運過來的黏土沉積，充填岩盤的張口裂隙內而形成，大部分是由非常細顆粒的褐色~黃褐色土所構成。</p>	<p style="text-align: center;">顯示錯動裂隙出現率與錯動量指標草案</p> <p>錯動裂隙數目：橫坑(鑽探孔)特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)的錯動寬度0.25~0.3mm以上之裂隙數目。以「每1m錯動裂隙數目」標示。</p> <p>錯動裂隙出現率：於橫坑(鑽探孔)的特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)內的(測線上的)全部裂隙數量與錯動寬度0.25~0.3mm以上錯動裂隙數目之比率(%)。以「每1m錯動裂隙出現率」標示。</p> <p>錯動方向：以裂隙上盤的岩體移動方向為準，標示方向·傾角(N○○W·○○S等)。在橫坑坑壁等無法判別其真實方向時，其視方向以(視N○○W·○○S等)標示。</p> <p>錯動量：能確認錯動量方向時，以真正的錯動量定義。無法確認真正的錯動方向時，以視錯動量定義。</p> <p>累積錯動量：橫坑(鑽探孔)的特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)的數條裂隙之累積錯動量。以「每1m累積錯動量」標示。</p> <p>最大錯動量：橫坑(鑽探孔)特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等等)單一裂隙最大錯動量。以「每1m最大錯動量」標示。</p> <p>錯動量分級：每區間的「累積錯動量」與「最大錯動量」概略分級，可以「張口量分級」分級參考值為依據，但可配合現場狀況與目的，加以調整。</p>
<p style="text-align: center;">張口裂隙出現機率與張開口量指標草案</p> <p>張口裂隙數：橫坑(鑽探孔)特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)張口寬度0.25~0.3mm 以上之張口裂隙數目。以「每1m張口裂隙數」標示。</p> <p>張口裂隙出現率：於橫坑(鑽探孔)的特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)內的(測線上的)全部裂隙數量與張口寬度0.25~0.3mm以上張口裂隙數目之比率(%)。以「每1m開口裂隙出現率」標示。</p> <p>張口量：(並非沿著測線等的張口量)張口量係指裂隙面與面間之垂直距離，而即使同一條張開口裂隙的不同部位，張口量也會不同，因此，本定義的張口量，是與測線交叉部位的開口量。此外，橫坑內等能觀察到的範圍內，單一裂隙最大張口量稱為最大張口部張口量。充填流入黏土者，原則上也算是開口量。</p> <p>累積張口量：橫坑(鑽探孔)的特定區間內(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)之累積張口量。以「每1m累積開口量」標示。每個相對於區間長與該區間累積開口量之比(%)，稱為區間張口率。</p> <p>最大張口量：橫坑(鑽探孔)的特定區間長(1m, 5m, 10m, 橫坑全區間等)之單一裂隙的最大張口量。以「每1m最大張口量」標示。</p> <p>量口量分級：每區間的「累積張口量」與「最大張口量」相關的分級參考值，如下所示，但可配合現場狀況與目的，加以調整。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 1m 以上 ② 30cm 以上 ③ 10cm 以上 ④ 3cm 以上 ⑤ 1cm 以上 ⑥ 2.5~3mm 以上 ⑦ 1mm 以上 ⑧ 0.25~0.3mm 以上 ⑨ 未達以上標準(沒辦法列入開口龜裂之中也無妨) 	<p style="text-align: center;">橫坑與露頭的疏鬆性狀分類草案</p> <p>疏鬆性狀區分：定性評估疏鬆岩盤的疏鬆程度，從高到低，依序分級如下所示；實際操作時，可依現場狀況調整或變更，此外，再加上風化狀態(岩心都已風化、只有裂面周邊風化或鐵染，等)、有無流入黏土等因子，一併做為評估標準亦可。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 土砂狀 (疏鬆所導致變形、破碎、風化等致岩盤細粒化、軟質化與砂土化的物質) ② 崖錐狀 (大量滾動過的岩塊群或混雜土砂的岩塊狀) ③ 堆砌狀或極疏鬆 (大部分岩塊約 3cm 以上錯動或張口，整體上，岩盤猶如數 10 cm~數 m 大小的石塊堆砌而成) ④ 塊狀乃至於很疏鬆 (數 m~10m 左右範圍內出現大約 3cm 以上的大錯動與張口，整體岩盤被分成數 m~10 數 m 左右的岩塊) ⑤ 疏鬆 (在數 m~10m 左右範圍內可見 1~3cm 左右裂隙張口或錯動之岩盤) ⑥ 略疏鬆 (在數 m~10m 左右範圍內可見 3mm~1cm 左右裂隙開口或錯動之岩盤) ⑦ 微疏鬆 (在數 m~10m 左右範圍內出現一些 2.5~3mm 不到的裂隙張口或錯動之岩盤) ⑧ 前疏鬆 (數 m~10m 左右範圍內只有極小部分出現 2.5~3mm 不到的裂隙張口或錯動之岩盤；在數 m~10m 左右範圍內有些地方可看到小於 1mm 的裂隙張口或錯動；幾乎無法辨認出裂隙張口或錯動，但由於應力解壓等作用而致軟質化、震波速度降低、透水性提高等的岩盤)

＜相關通知等＞

- 1) 建設大臣官房技術調査室監修，土木研究所編集：ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版），（財）日本建設情報総合センター，1999.
- 2) JGS 3811-2004 岩盤の工学的分類方法.

<參考資料>

壩基礎岩盤分類方法，可參考下列資料。

- 1) 岡本隆一，安江朝光：ダムサイトにおける岩盤区分の試み-矢作ダムの例-，土木技術資料，Vol.8 No.9，1966.
- 2) 森良樹，脇坂安彦，佐々木靖人，阿南修司：原位置岩盤せん断試験によるダム基礎の岩盤分類の定量的な評価の試み，ダム工学，Vol.17 No.3，pp.205-215，2007.
- 3) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門（第4刷），山海堂，1971.
- 4) 増田秀夫：我が国におけるコンクリートダム基礎地盤の弾性波速度に関する応用地球物理学的研究，電力中央研究所報告，土木 61006，1961.
- 5) 佐々木靖人，片山弘憲，倉橋稔幸：ダムにおけるゆるみ岩盤の実態と分類試案，ダム技術，No.228，pp.9-21，2005.

(4) 地下水調査成果彙整

<建議>

壩基礎地質調査，應彙整地下水相關資料，以作為壩建設計畫各階段檢討滲透流對策與基礎處理計畫的參考資料。

為了要掌握地下水變動情形，所以須要長期觀測。開挖調查坑時可能會使地盤的地下水位下降，因此地下水相關資料，應從建壩工程初期就開始蒐集、整理。

基本的地下水資料，包括鑽探時的孔內水位變動圖，及鑽探後持續觀測孔內水位結果，依觀測結果繪製地下水等高線圖。必要時，應製作壩址水庫周邊地表水流出狀況與湧水狀況、比流量圖等，可有效瞭解地下水賦存狀況。

(5) 透水試驗成果彙整

<建議>

壩基礎地質調查時，最好依據透水試驗結果，整理成基礎岩盤透水性狀成果。

整理基礎岩盤透水性狀成果時，應檢討各個影響呂秦值的地質因素，若認為有高透水層存在時，則需參考地質組成、地質構造、岩盤分類、裂隙、斷層破碎帶分布及其他調查結果，以水文地質學的觀點，探討該高透水層的成因、方向、延伸（壩基礎岩盤上下游方向及相鄰流域方向的連續性、來自水庫方向及往下游方向的漏水入口與出口等），並加以整理。

將呂秦漏水試驗(Lugeon test)結果的呂秦值載入地質斷面圖上，充分檢討基礎岩盤的水文地質構造等，並利用等呂秦值線，以透水性為區分，繪製基礎岩盤的呂秦圖(Lugeon map)。若認為地質相當脆弱，不易灌漿止水時，應將呂秦漏水試驗取得之臨界壓力資料，繪製臨界壓力分布圖。

4.4 第四紀斷層調查

4.4.1 調查方針

<要點>

第四紀斷層調查，應分以下階段實施調查。

- 1) 初勘
- 2) 精查

初勘，目的是在瞭解壩址附近是否有或可能有第四紀斷層。精查，係依據初勘結果，進一步確認壩址附近有第四紀斷層存在或存在可能性，而進行斷層位置、規模與活動性地質調查。

4.4.2 初勘

<標準>

初勘的標準方法，包括文獻調查、地形調查、地表地質勘查。

<建議>

初勘，最好按照下列步驟實施。

文獻調查，係就壩址半徑約 50 km 範圍內，蒐集分析第四紀地質構造運動的有關文獻資料，並將文獻資料分析結果，彙整在比例尺 1/200,000 的地形圖上，成為「地質集成圖」。

地形調查，係針對壩址半徑約 10 km 範圍內，以航空照片及地形圖（比例尺 1/25,000 左右）判釋地形，圈繪出斷層變位地形、線形等。所使用的航空照片比例尺，原則上約為 1/40,000，可配合地形狀況使用適當比例尺的航空照片。

比對文獻調查與地形調查結果，發現壩址半徑約 3 km 範圍以內，有第四紀斷層或線形通過時，應針對文獻所記載第四紀斷層與所判釋的線形，從第四紀地質構造運動的地形調查觀點，進行地表地質勘查。

<參考資料>

壩址活斷層地形判釋，可參考以下資料。

- 1) (独)土木研究所ほか：活断層地形要素判読マニュアル，土木研究所共同研究報告書，第 338 号，2007.

4.4.3 精查

<標準>

精查的標準方法，係根據初勘結果，認為必須進一步精查時，而實施地形調查、地表地質調查、物理探測、地質鑽探、明溝壑調查坑調查等，並選用適當的斷層活動年代測定方法，進行定年調查。

<建議>

精查，最好依精查-1、精查-2、精查-3 的順序，進行調查。

精查-1，主要為地形調查與地表地質調查。地形調查，是針對壩址附近及其周邊，以比例尺 1/8,000~1/10,000 的航空照片或 1/1,000~1/5,000 左右地形圖等，判釋地形，並圈繪出第四紀斷層、疑似第四紀斷層線形沿線的斷層變位地形等。地表地質調查，則是第四紀斷層或疑似第四紀斷層線形沿線寬 500 m 左右範圍內，詳細調查確認第四紀斷層的有無、位置、規模、活動性等。

精查-2，乃是依據精查-1 的調查結果，尚無法否認有第四紀斷層可能性時，即從物理探測、地質鑽探、明溝調查、調查坑調查等方法中，選用適當者，調查確認第四紀斷層的有無、位置、規模、活動性等。

精查-2 的調查結果，仍然無法否認有第四紀斷層可能性時，就必須進行精查-3，更詳細地調查第四紀斷層的規模與年代等；調查方法，除了精查-2 所述方法之外，還可加上各種適當的年代測定方法。

4.5 水庫周邊地滑等調查

<要 點>

水庫周邊地滑等的調查，可分為如下所示之階段實施調查。

- 1) 概查
- 2) 精查
- 3) 補充調查與蓄水時的邊坡管理調查

概查，目的是在瞭解水庫周邊地滑等的分布情形，並篩選出須精查的地滑。

精查，目的是在取得機制分析、穩定分析、評估對策工程必要性、規劃對策工程等所需的資料。

補充調查與蓄水時的邊坡管理調查，係為了補充分析結果、細部設計之資料，而實施必要的調查。

<標 準>

概查的標準方法，首先為資料調查，然後依據航空照片與地形圖等判釋結果，繪製地滑地形分布草圖，再經地表地質勘查等結果的查核，修改該草圖成為地滑分布圖。根據這些調查結果，綜合評估水庫蓄水對地滑等的影響、地滑規模、對保全對象的影響等，並篩選出需精查的地滑。

精查的標準方法，先針對概查所篩選出的地滑區及其周邊，測製必要精度比例尺的地形圖，然後進行地質鑽探、地下水調查、移動量調查等。依據這些調查結果，考量地滑等位置、規模、與保全對象的關係，評估穩定分析等的必要性，同時當作穩定分析之基礎資料。

補充調查，通常是參考壩體與水庫周邊道路等開挖面的地質資料，選用適當的方法進行調查。此外，若施工時取得了有關地滑的新資訊，或是因應水庫蓄水時的邊坡管理需求，都可靈活應用概查或精查的方法，適當地實施補充調查。

調查的詳細內容，可參考「貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針（案）」。

除此之外，有關一般性的地滑調查，可參考第 18 章地滑調查。

<舉 例>

地滑地的地盤，斷層與風化造成的破碎與地滑導致破碎者，多混雜在一起，故常造成辨識滑動面與劃分滑動塊體上的困惑。因此，在觀察鑽探岩心時，為了適切地辨認出滑動面，除了要有優良品質的岩心之外，還要慎重地區別地滑所導致的破碎與其他原因所造成者。識別方法案例，如以下所示的破碎度區分法（圖15-4-4、表15-4-11）。

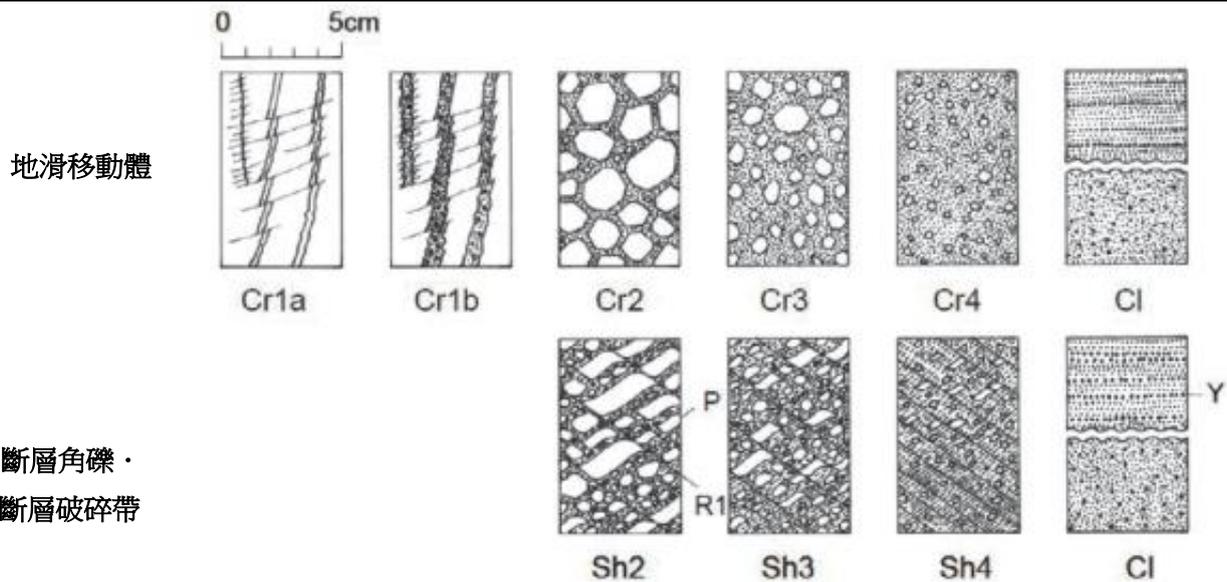


圖15-4-4 地滑滑動體與斷層岩類破碎度區分（脇坂・上妻・綿谷・豊口，2012）

表15-4-4 地滑滑動體與斷層岩類之破碎的識別與破碎度區分
（脇坂・上妻・綿谷・豊口，2012）

符號		破碎之狀態	組成物質		粒度分布		複合面構造	
			角礫的中央粒徑	基質之量				
地滑	斷層		地滑與斷層共同		地滑	斷層	地滑	斷層
Cl	Cl	黏土～砂	黏土		連續		視情況而定	
Cr4	Sh4	角礫岩	2-5mm	60%以上	連續		無	有
Cr3	Sh3		5-15mm	30-60%	不連續	連續		
Cr2	Sh2		15mm以	不足30%				
Cr1b		細料填充了張口裂隙			不連續	連續	無	有
Cr1a		張口裂隙						

< 相關通知等 >

- 1) 貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針(案)・同解説，平成 21 年 7 月，国土交通省河川局治水課。
- 2) 地すべり防止技術指針及び同解説，平成 20 年 4 月，国土交通省，(独)土木研究所，p.145。

< 參考資料 >

水庫周邊地滑調查參考資料如下。

- 1) (財)国土技術研究センター編集：改訂新版 貯水池周辺の地すべり調査と対策，p.277，古今書院，2010。

以地滑與斷層岩類岩心識別方法舉例，可參考以下資料。

- 2) 脇坂安彦，上妻睦男，綿谷博之，豊口佳之：地すべり移動体を特徴づける破碎岩－四万十帯の地すべりを例として－，応用地質，第 52 卷 第 6 号，pp.231-247，2012。

4.6 壩體材料調查

4.6.1 調查方針與內容

(1) 調查方針

<要點>

壩體材料調查，目的是要掌握壩體材料採石場之適合性、材料蘊藏量、材料品質等，乃於選定壩址的同時，即開始採石場候選場址評選調查、採石場選定調查，並於壩址設計階段調查時，同時進行採石場設計與施工計畫階段的壩體材料調查，及伴隨各階段調查的材料試驗。

(2) 採石場候選場址評選調查

<標準>

材料採石場候選場址評選調查，是為了瞭解使用材料大致的品質及蘊藏量，篩選出候選的採石場，而實施資料調查與地表地質調查。

<建議>

採石場候選場址評選調查，最好依下述說明實施。

資料調查，首先整理既有地形圖、航空照片與航測圖、地質圖等，檢討計畫地點附近地形與地質，並考量材料運送到壩址的交通條件，篩選出數個採石場候選場址。此時也應蒐集有無土壤污染或有害物質、採料所需補償程度、鑛業權、對鐵道與道路等其他事業的影響、環境保育對策、安全對策等有關資料。

地表地質調查，是參考資料調查結果，赴現地調查各個候選場址的地形與地質條件、經濟性、環境條件等。調查範圍，應該是可確保充分取得壩體材料數量的範圍。各個候選場址的地表地質調查，是要瞭解可能取得材料的蘊藏量，並採取代表性試樣，進行各種使用目的的材料試驗，以大致掌握壩體材料品質。施工所需材料量，考慮到須去除不良土等狀況，實際上應達到需要量的1.5~2.0倍。依據各候選場址的現地調查結果、材料的採取條件、採取方法、運搬距離、運搬路線等因子，評估各候選場址的優劣。

混凝土骨材，有使用河床、河岸階地等的河川砂礫（含陸地砂石），也有採取原石並加以粉碎作為材料者。使用河床砂礫時，應調查構成礫石之岩質、粒度、形狀、風化程度、砂·粉土·黏土含量、有機物含量、堆積狀況等。若是採石場時，則應調查岩質·岩相、表土層厚度、岩石風化程度與厚度、變質程度、多孔性、硬度、裂隙間隔等。對於小規模的壩，有時使用市售砂石或碎石較有利，甚至於可考慮使用堆積在防砂壩內的土砂，這些都應一併檢討。

土石壩築壩材料之中，透水性材料的來源，包括從河床或河岸階地採取含有大量卵石的粗粒砂礫材料、採取原石做為石材、基礎開挖的剩餘土方等。由於透水性材占壩體的比重，比其他材料大，因此，除了考慮材質之外，也應注意搬運條件與採料條件。一般而言，土石壩建設成本深受搬運距離的影響，因此，決定採料地時，必須考量此事項。另外，表土厚度、搬運道路位置、採料方法等，也應列入評估。

土石壩築壩材料之中，半透水性材料的來源，包括從河床或河岸階地採取較細粒的砂礫材料、開採原石所得的細粒石材、挖掘的剩餘土方等。砂礫材料，一般材質較堅硬，容易夯實，且夯實後的密度通常較土質材料與石材材料大，就經濟效益而言，值得推薦，但是會有材質與粒度不穩定的情況，所以需要仔細調查。此外，若使用挖掘的剩餘土方、細粒石材材料的話，由於重機械夯實施工，會使材料更破碎而增加了細粒料的份量，如此可能無法達到要求的粒度及透水性，此點需特別注意並調查。

土石壩築壩材料中的土質材料，其來源有風化岩、風化殘留土、崖錐堆積物、河岸階地堆積物等，一般多是使用風化殘留土與崖錐堆積物。風化殘留土，雖然其品質會受母岩品質影響，但是就重機械施工而言，它是非常好的材料。崖錐堆積物，是最常見的土質材料，且蘊藏量多，但設計時應注意其含水比與粒度等品質的問題。此外，土質材料以單體無法取得所需的性質時，有時也可混合2種以上材料來達到要求的標準，這部份也應注意調查。

上述的地表地質調查結果，最好繪製成比例尺 1/5,000 左右地質圖、地質斷面圖。

(3) 採石場選定調查

<標準>

採石場選定調查，是針對所評選出來的候選採石場，為了選定所要的壩體材料的採石場，而從地表地質調查、物理探測、地質鑽探、調查坑調查、明溝調查、材料試驗等方法中，組合適當者，進行調查。

<建議>

採石場選定調查，最好參考以下事項實施。

調查的規模，應依據預定採石場的地形、採料量及壩整體工程等，進行規劃。若有數處採石場候選場址，則應依據材料採石場候選場址評選調查結果、經濟效益、環境條件等，選出最有希望者先開始調查。

各個候選場址，可從地表地質調查、物理探測、鑽探、調查坑調查、明溝調查等之中，擇用必要方法調查，希望掌握正確的材料蘊藏量。土質材料通常是不均勻分布，常與預估狀況差異很大，因此，規劃調查配置與密度時，須適當地檢討材料品質的三維分佈情形、採掘計畫、採掘時及採掘後的邊坡穩定等事項。特別是地質鑽探，是可直接確認材料品質的重要調查方法，應規劃適當的調查範圍、密度、深度。

各種調查所取得的試料，依各個使用目的進行材料試驗，以掌握材料詳細性質。然後根據調查結果，排列候選採石場的優先順位。最後根據該調查結果，再考慮經濟效益、環境條件等，選定採石場。

調查結果，應以可計算蘊藏量精度的地形圖為底圖，整理出地質平面圖、地質斷面圖、材料區分圖等。

(4) 設計・施工計畫調查

<標準>

設計與施工計畫調查，係為了決定設計條件，並訂定材料是否適當的判斷基準，而針對選定的採石場之材料，依使用目的，進行詳細的室內試驗與現地試驗。

<建議>

設計與施工計畫調查，最好參考以下事項實施。

設計與施工計畫調查，應依使用目的，實施各種材料試驗，並就壩的設計條件，決定粒度、

配料性、含水比、單位體積重量、強度、透水係數等壩體材料物性值。此外，還要訂定使用材料是否適當之判斷基準，製作滿足預定設計條件的現場配料比、夯實機種、滾壓厚度與滾壓次數、施工含水比等施工基準，擬定施工計畫。對於壩體材料的採料方法、搬運路線維護、淘汰品與污水處理、採料後的坡面穩定等事項，亦須詳加檢討。

4.6.2 混凝土骨材試驗

<標準>

混凝土骨材試驗，係為了選定乾淨、堅硬、耐久、具適當粒度與粒形、不含有機不純物等的骨材之採石場，而實施必要的室內岩石試驗

<建議>

混凝土骨材調查，最好參考以下事項實施。

混凝土骨材試驗，主要是針對細骨材與粗骨材，實施混凝土骨材試驗(比重與吸水量試驗、磨損試驗、穩定性試驗等)。若採用碎石做為混凝土骨材時，應試驗性地以碎石機進行破碎試驗，觀察岩石的破裂方式與岩片形狀。當發現骨材含有蒙脫石等黏土礦物時，應實施稠度經時變化試驗與凝結試驗。

混凝土骨材，於選定材料時，對於極端銳角或偏平破裂、具有許多潛在裂縫、吸水膨脹、風化嚴重等岩質，應加注意。此外，骨材須具備耐久性與化學穩定性，因此對於會產生鹼矽氧反應(Akali silica reaction)的礦物(例如，玉髓、蛋白石、方英石、鱗石英、火山玻璃等)、誘發早期凝結的礦物(例如，蒙脫石)、破壞混凝土耐久性的礦物(例如，濁沸石)、降低壓縮強度的礦物(例如，雲母)等不利於混凝土的礦物，其含量不得超過標準。

<相關通知等>

- 1) JIS A 5308 レディーミクストコンクリート.
- 2) 土木学会コンクリート委員会，コンクリート標準示方書改訂小委員会：2007年制定コンクリート標準示方書【ダムコンクリート編】，2008.

4.6.3 透水性材料(石材)試驗

<標準>

透水性材料試驗，是為了選定具備所需抗剪強度與排水效率、耐風化之材料的採石場，乃實施必要的室內試驗。

<建議>

透水性材料試驗，最好參考以下事項實施。

選定材料時，應選擇岩質優良的材料。特別是堆石(Riprap)，必須是能承受長期風化與波浪沖擊的良質材料。但是即使施工過程中破碎而細粒化的材料，或是有風化之虞的材料，只要在選定設計值與配置區塊時能好好地掌握住材料性質，仍能作為築壩材料。此外，為了防範堆石護坡沉陷，應將大小石塊混合成適當的粒度。

採石場選定調查階段的材料試驗，主要是要探討粒度、比重、吸水率、耐久性、壓縮強度、密度、抗剪強度等事項。

設計與施工計畫調查階段的材料試驗，除了更詳細實施上述試驗之外，還要規定採取材料與堆砌方法，並進行試驗性爆破等大型試驗與現地試驗，檢討其密度與抗剪強度等。對於細粒料成分較多的材料，需檢討其透水性相關事項。

具有風化岩的軟岩耐久性問題的材料，應施作消散試驗、凍結融解試驗等，並加以檢討。

一般而言，透水性材料粒徑較大，且以重機械施工而有細粒化傾向，故應實施試驗性堆填，檢討其密度。

4.6.4 半透水性材料（濾材、過渡材）試驗

<標準>

半透水性材料，應具備堅硬、不含有機物等有害物質、適於作為截水層與透水層過渡材的粒度分布與透水性等條件，而為了選定這種材料的採石場，須實施必要的室內試驗。

<建議>

半透水性材料試驗，最好依下列說明實施。

半透水性材料，特別是當作濾層材料時，必須具備能防止截水層細粒子流出，且能讓滲透的水安全流出的適度排水能力。

採石場選定調查階段的材料試驗，是要探討粒度、比重、吸水率、特性以及密度、透水性、抗剪強度等事項。

設計與施工計畫調查時，除了重點式地進一步實施上述試驗外，還須規定實際採料方法，並儘可能以類似條件的採料方法取樣，實施密度的現地試驗，及調查夯實前後密度變化。

4.6.5 土質材料（壩心材）試驗

<標準>

土質材料，應具備要求的截水性與抗剪強度、壓縮量少、容易夯實施工、不含超量有機物等條件，而為了選定這種土質材料的採石場，須實施必要的室內試驗。

<建議>

土質材料試驗，最好依下述說明實施。

採石場候選場址評選調查時，主要是概略的依據材料的觀察、粒度、液性限度、塑性限度等，分類土質材料，並判斷是否適於作為壩體材料。

採石場選定調查階段的材料試驗，主要目的是檢討粒度、液性限度、塑性限度、比重、自然含水比、夯實特性、透水性、抗剪強度與壓密特性等。特別是自然含水比與夯實特性，係判斷穩定性與施工效率的重要參考。此外，調查過程中，必要時，也應實施吸水膨脹、有機物含量、水溶性成分含量等試驗。

設計與施工計畫調查階段的材料試驗，除了更詳細實施前項試驗外，必要時，也應進行含有粗粒成分的大型試體夯實試驗、透水試驗、剪力試驗等，求出設計粒度、最佳含水比、設計密度

、滲透係數等。此外，藉由現場滾壓試驗，以求出滾壓厚度、滾壓次數、施工含水比、密度、滲透係數等，設計與施工計畫所需之材料條件資訊。

< 相關通知等 >

1) JGS 0051-2009 地盤材料の工学的分類方法.

4.7 臨時設施與替代道路等調查

< 要點 >

臨時設施與替代道路等的地質調查，是配合設計成熟度，進行適宜的調查，以取得檢討設計與施工計畫所需地質資訊。

< 標準 >

臨時圍堰、臨時排水隧道、纜索起重機塔、走道、各種設備、工程用道路與替代道路等的設計與施工之候選地點地質調查，是為了瞭解各地點之地質狀況與設計・施工上的問題點，乃進行資料調查、地形調查、地表地質調查、鑽探、物理探測等調查。道路與隧道等的地質調查，應參照相關規定等辦理。

< 建議 >

壩工程建設而需開闢大規模的替代道路時，在挖方、填方、橋樑、隧道、擋土牆等道路構造物預定地點，應分別實施地表地質調查、鑽探、物理探測，整理出各地點的地質狀況與設計・施工上問題點，以防施工中發生災害，或妨礙道路維護管理。

臨時設施與替代道路等的地點，在壩址與水庫地表地質調查之際，即應事先擴大調查範圍並繪製地質圖。又，調查時，最好能應用水庫周邊地滑等調查、水庫地質調查等的結果。

4.8 調查資料保存

< 要點 >

設計與施工時的地質調查與試驗資料，是試驗性蓄水時及竣工後實施管理、維修與再開發時的重要資料，因此需妥善保存。

< 建議 >

應保存的資料及保存期限如下所示，但有時依個別壩的狀況，亦須延長保管期限。

- 1) 至壩竣工為止；岩心、材料試驗試樣標本
- 2) 壩竣工後 5~10 年間；鑽探日報、其他調查試驗的直接記錄
- 3) 永久保存；地質調查報告書（從壩址選定階段到管理階段為止的壩基礎等調查、第四紀斷層調查、水庫周邊地滑等調查、壩體材料調查、臨時設施・替代道路等調查報告書）、1/5,000 及 1/500 等地形圖、航空照片、土質試驗・透水試驗・現地試驗資料、鑽探岩心彩色照片、基礎岩盤岩石標本、特殊調查資料、其他判斷所必要之資料

此外，目前地質調查成果通常製作電子資料檔案，上述調查成果亦應整理成可隨時使用的電

子檔，妥善保管。另外，需永久保存之紙本資料，也應製作電子檔，永久保管。紙本資料最好也能永久保存，但是紙本資料量大而占空間時，最好還是做成電子檔永久保管。有些大版面・色彩地質圖等圖資，做成電子檔的話，解析度不足，不易迅速利用，最好分別指派水庫管理單位、技術試驗中心、地方政府負責相關業務單位等，負責妥善保管。

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2017

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。