

譯者簡介：

李筠慧

政大日文系畢業，現擔任貿易公司日文採購業務助理。

## 第 8 章 製造物責任法 2

ウ 第一核電廠建設時的脆弱耐震性

(ア) 1 號機當初設想的地震波

為了建設 1 號機，1966 年 7 月 1 日，東京電力向內閣總理大臣提出《福島核子發電廠核子反應爐設置許可申請書》。關於預定地附近的地震情形，該申請書的附件 6 中記載：「福島縣周邊除了會津附近以外，幾乎沒有發生明顯的地震災害，以全國來說可以說是地震活動性較低的地區之一。」、「可以認為福島發電廠預定地附近是福島縣內地震活動性較低的地區。」、「福島發電廠用地附近過去並沒有震災經驗。」

根據這樣的想法，認為「As 等級與 A 等級的設計是設計成在底部受到地震波最大加速度 0.18g 時是安全的。」「As 等級設施在受到比 0.18g 大 1.5 倍的加速度地震波時，可以確認不會損失機能。」0.18g 是 179GAL，0.18g 的 1.5 倍 (=0.27g) 相當於 265GAL。較早運作的敦賀核電廠 1 號機，是以 1948 年芮氏規模 7.1 的福井地震來考慮，將其最大加速度 368GAL 設為維持機能的地震波，相比之下以 265GAL 作為最大加速度是相當低的。簡單來說，敦賀發電廠比福島發電廠堅固了 1.4 倍左右。

如上述，關於第一核電廠設置位址之地震活動性的見解及耐震設計的基本方針，在 1966 年 11 月 17 日，原子委員會委員長向內閣總理大臣提出報告時，被直接沿用並加以承認。因此，這樣設想偏低的地震波數值顯然是天真的，當初基於此設想的耐震設計也明顯地不夠安全。

而且在那之後隨著地震科學的發展、累積的地震觀測資料以及耐震標準的提高，必須要修正耐震安全性並進行耐震補強，可是如同下述，第一核電廠並沒有進行最低限度的改善。因此，機械設備的部分直到本次地震發生為止仍然存在著脆弱的耐震性。

#### (イ) 1 號機設置之後的狀況

第 2 之 1 曾敘述過，根據板塊構造論與地震斷層模型論等理論，地震研究有了很大的進展。另外，1970 年代後半以後，計算出特定地點的地震波是有可能的。

根據最新的見解，第一核電廠面臨千島海溝至日本海溝的大規模板塊沒入邊界區域，明顯地受到板塊地震的威脅。因此，可以預想到可能會發生的大地震，其地震波最大加速度超過 265GAL 的可能性很高，但是核電相關人士沒有修正選址條件與耐震設計，第一核電廠到 1971 年 12 月提出的「核子反應爐設置變更許可申請書（增設 6 號機）」為止，重複使用完全同樣的內容進行各號機的增設申請。

### エ 不完善的耐震再檢查

#### (ア) 再適用與再檢查

如同前述，雖然耐震設計審查基準從個別經驗主義式的審查轉變到舊指南、新指南的時代，但是對於在訂定指南之前已經取得設置許可的核電廠來說，並不存在溯及既往的「再適用」法律原則。管理當局向電力業者要求既有核電廠按照新指南大致確認是否安全，也就是所謂的「耐震再檢查」。

這時透過地震應對分析等方式判定不符合新指南規定的設施，在慣例上是電力業者自主進行補強工程後重新再做一次分析，當作是符合了新指南規定，做出「耐震再檢查」的報告。

#### (イ) 舊指南的制定與耐震再檢查

舊指南中，關於耐震設計用的地震波方面，在開放基岩表面（假設發電廠地基的地下基岩面上沒有表層及構造物的情況下，基岩面沒有明顯高低

差，幾乎都是平面的寬廣表面）制定了 S1、S2 兩種基準地震波。舊指南並規定了耐震重要度分類，A 等級設施受到 S1 地震波必須維持在彈性範圍內，As 等級設施受到 S2 地震波時可以容許一部份進入塑性範圍，但要求必須保持安全機能。

制定舊指南後過了 11 年，1992 年 5 月，當時的資源能源廳公益事業部透過電事連對核電業者要求報告再檢查結果。對此，東京電力在 1994 年 3 月提出了 1~6 號機的「耐震性評估結果報告書」。

報告書中，第一核電廠的各號機都得到兩個評價：①輸入從 S1 所求得的模擬地震波，計算出負荷量及應力的結果，因為有安全餘裕，可以確保耐震安全性。②輸入 S2 所求得的模擬地震波之後所討論出來的結果，是可以維持設施的安全機能。但是各號機的重要管線評估當中，大約 90% 以上的地方存在數個超過發生應力值之容許值 70% 的部分，。

基準地震波如果只是大了一點點，也可以判斷得出不符合規範的結果。

才 針對新指南的再檢查，其致命性的不完善

#### (ア) 新指南

原子安全委員會在 2011 年 7 月設置耐震指南檢討分科會（以下稱「分科會」），開始舊指南的改訂作業，2006 年 9 月 19 日正式決定新指南。

新指南跟舊指南最大的不同之處在於，清楚寫出了基準地震波（S1 與 S2 合併為 Ss、研討用地震、地震波評估方法等等）、活斷層的評估期間（從過去 5 萬年改為 12~13 萬年）、垂直方向地震波（上下動）的個別評估、耐震重要度分類（A 等級與 As 等級合併成為 S 等級）、地震伴隨現象（周邊斜面崩壞、海嘯）。重要度分類 S 等級的設施被要求在受到基準地震波 Ss 的情況下要能夠保持安全機能。也導入了比 Ss 低了一定程度的彈性設計地震波 Sd。

另外，舊指南所設想的芮氏規模 6.5 直下型地震的基準地震波 S2-N 被新指南導入的「制定非特定震源地震波」取代。（並非標準加嚴，這點被指出是藉由電事連發揮影響力。）

#### (イ) 耐震再檢查的指示

原子安全委員會制定新指南的隔天，2006年9月20日保安院要求核電業者針對運轉中及建設中的核電廠，按照新指南提出耐震再檢查的實施計畫並加以實施。此時保安院也制定「再檢查規則」，當中包含耐震再檢查的基本想法、評估方法及確認基準。

此外，保安院在2007年7月16日發生新瀉縣中越海域地震（芮氏規模6.8）之後，指示核電業者修正實施計畫，以盡早確實完成評估。同年的12月27日要求耐震再檢查要反應中越海域地震的相關看法。

東京電力對於以上要求，在同年8月20日報告耐震再檢查實施計畫的修正結果，2008年3月31日提出第一核電廠5號機及第二核電廠4號機的耐震再檢查中期報告書。2009年4月3日提出第二核電廠1～3號機的中期報告書，同年6月19日提出第一核電廠1～4號機及6號機的中期報告書。

保安院檢討了這些再檢查中期報告書的妥當性，2009年7月21日整理出第一核電廠5號機的評價。

#### (ウ) 保安院對東京電力耐震再檢查的評價

對於東京電力第一核電廠5號機的中期報告，保安院首先評價基準地震波Ss的制定與地震波評估方法是妥當的，評估5號機核子反應爐建築物及機器、管線在面臨Ss時可以確保耐震安全性。

但是東京電力中期報告書所記載的設施當中，保安院評估了其耐震安全性，除了核子反應爐建築物之外，可以「停止」、「冷卻」反應爐，「封閉」輻射物質，也就是安全上最重要的S級設備不超過7個（核子反應爐壓力容器、核反應爐覆蓋容器、爐心支撐構造物、去除餘熱幫浦、去除餘熱配管、主蒸氣管線、插入式控制棒）。而且還限制了各設備的評估部位。被評估的設備只在限定部位做耐震再檢查是不夠的，無論如何也不能說可以確認5號機整體的安全性。現在保安院的「今後的檢討課題」當中，載明①8個主要設施（包含核子反應爐建築物）以外，安全上最重要的設施的耐震安全性評估妥當性

②確認 8 個主要設施中期報告中評估對象之外的部位評估結果。

關於這一點，電事連及保安院認為：「機器評估是中期評估，舉出主要設備的一個例子來表示認為大致上沒有問題，這並不是以確認發電廠設備耐震安全性為目的的評估。」儘管如此，東京電力在各號機的中期報告當中極力宣傳透過耐震再檢查已經確認可以確保安全上重要的建築物、機器、管線的耐震安全性，繼 5 號機之後，包含同樣也進行了不夠充分的耐震再檢查的 3 號機在內，保安院公開表示評估了東京電力的中期報告，確認了其耐震安全性。

#### (工) 耐震再檢查實際作業情況

本次核電事故發生時，第一核電廠各號機當中，除了 4、5 號機的少部分以外，機器・管線沒有進行再檢查及耐震補強工程。國會事故調查委員會要求東京電力回答關於本次核電事故發生時第一核電廠機器・管線的分析評估預定及進行狀況、耐震補強工程預定及進行狀況，然而關於 1~6 號機都只有「正在設備廠實施耐震安全性評估」為主旨的回答。(甲 1・73 頁)

在這樣的狀況下，東京電力在內部會議中已經體認並檢討耐震補強工程要有必須的設備。舉例來說①1 號機核子反應爐輔助機械冷卻水管線在建設當時是耐震等級 B 級，因為現在認為是必須要耐震 S 等級，可以想見面臨基準地震震動  $S_s$  時是無法確保耐震安全性的。②1 號機水壓控制組裝耐震支座金屬部分及焊接部分，拉力及剪力組成的應力的計算值出來超過評估基準值。③基於柏崎刈羽核電廠的耐震補強工程，也檢討了第一核電廠、第二核電廠必須增設管線、電路、導管、支撐構造物等等。其他必須進行耐震補強工程的設備還有很多。

根據東京電力內部資料，在本次核電事故發生前，原本預定在 2016 年 1 月提出最終報告書，從 2006 年指示耐震再檢查之後晚了約 10 年提出。另外本核電事故發生前，準備分析作業時不可或缺的「管線測量裝設圖」及「等角視圖」都還非常不齊全。提出耐震再檢查指示過後經過了 4 年半，所發生的

狀況顯示確保安全的意識低落。

保安院雖然也擔憂耐震再檢查進度落後，以口頭敦促，但沒有進一步管理。

(才) 確認 S 級耐震設備的耐震安全性不足

本次核電事故後，東京電力審查 5 號機全部的 S 級耐震設施，應答比（本次地震載重與設計時的應答值的比）超過設計裕度（設計基準值與計算值的比）的設備會以基準地震波 Ss 實施分析評估。其評估結果發現 5 號機除了供水系統管線本體及支撐部位以外，核反應爐冷卻材再循環系統、核子反應爐隔離時冷卻系統、高壓注水系統等等的支撐部位，其發生應力計算值全都超出評估基準值。

這樣子的事實，不僅是發生本次核電事故之前，未完成耐震再檢查的 5 號機管線並沒有確保其耐震安全性，此外，各號機管線顯然也存在沒有確認耐震安全性的部分。另外，這些部分並不是耐震再檢查中期報告中作為檢查對象的 S 等級，再次顯示中期報告中耐震安全性的確認並不充足。

(力) 1 號機是因為地震而損壞

第一核電廠 1 號機不是由海嘯造成損壞，而是由地震造成的可能很高。

（甲 11 田中三彥《福島第一核電廠 1 號機核反應爐建築物 4 樓的嚴重損壞代表什麼意思—重新思考因地震波造成 IC 管線損壞的可能性》岩波書店《科學》1055 號）。以下敘述其論據。

i 1 號機最初是在 4 樓發生氫爆

從東京電力在 2011 年 10 月 18 日所拍攝的影片，以及 2012 年 8 月與 10 月使用氣球拍攝調查損壞狀況的照片來看，可以發現第一核電廠核反應爐建築物 4 樓有嚴重的損壞。

關於第一核電廠 1 號機 4 樓的損傷，東京電力一開始的說明是核子反應爐建築物 5 樓發生大規模氫氣爆炸，其伴隨的強風劇烈地吹進 4 樓。東京電力的事故調查最終報告書中，有如下的記述。底線是由原告的訴訟代理人所

添加上去的。

「設置在核子反應爐建築物 4 樓的緊急用冷凝器本體，因為受到 5 樓氫氣爆炸的影響，天花板北側出現破損口，緊急用冷凝器上部北側受到爆炸的強風，導致保溫材料脫落及瓦礫四散。另外，雖然緊急用冷凝器南側的保溫材嚴重脫落，但是也可以認為是核子反應爐建築物的機器出入口側遭到 5 樓發生的氫爆強風直接吹過，而損壞了緊急用冷凝器。」

但是國會事故調的報告書中，第一核電廠作業員 B 氏聽到的說法紀錄是，作業員 B 氏直到在地震發生前，在 5 樓一邊操作天花板起重機，一邊使用機器出入口（以下稱「大型物品搬入口」），將機械材料從 1 樓搬到 4 樓，結束搬運作業後，關閉 5 樓的大型物品搬入口，然後下來到 4 樓，接著馬上就遇到了洪水。（國會事故調報告書 228~229 頁）。

也就是說，在 1 號機核反應爐建築物發生氫爆之前，是以沉重的鐵蓋關閉 5 樓大型物品搬入口。

東京電力所作的事務最終報告書中，就如同底線所標示的，要以沒有蓋上鐵蓋為前提，強風才能夠吹入（機器出入口、大型物品搬入口）。也就是說，東京電力最終報告書與國會事故調中作業員 B 的說法紀錄互相矛盾。

假設 5 樓大型物品搬入口蓋上鐵蓋的話，5 樓發生氫爆的時候，鐵蓋應會發揮防止強風吹入 4 樓的效果，4 樓應當不會有嚴重的損害。

那麼氫爆是在哪裡發生的呢？從 4 樓的損壞狀況來看，很自然的會認為氫爆應當不是在 5 樓發生的，而是在 4 樓。4 樓發生的爆炸強風吹翻了上方 5 樓的大型物品搬入口，被吹到 5 樓或是核子反應爐建築物外的某個地方。

## ii 氫氣的來源

如果是最初發生氫爆的地方是核子反應爐建築物的 4 樓，那麼氫氣如何進入 4 樓的？

核子反應爐建築物 4 樓有 IC 系統管線。原本氫氣就會隨著燃料損傷的水—銦反應在核子反應爐壓力容器中產生。IC 系統管線直接連結到該核反應爐

壓力容器。因此，假設這些 IC 系統管線當中有任何一條管線因為地震震動的關係產生小破孔（Small Break，貫穿管壁的小龜裂），因為燃料損傷而在核子反應爐壓力容器當中產生的氫氣有可能會從該破孔繼續外洩到核反應爐建築物 4 樓。

洩漏出的氫氣因為比重比較小，會移動到天花板附近，但因為 5 樓大型物品搬入口有鐵蓋蓋著，所以不會移動到 5 樓，應該有大部分都是留在 4 樓。因為 IC 本體及相關管線設置在 4 樓靠西側牆壁的区域，是用很厚的水泥牆壁包圍的高密閉性空間。

氫氣從 IC 系統管線的破洞洩漏出的情況下，其溫度與氫氣來源的核子反應爐壓力容器的主要法蘭盤附近的內部溫度幾乎相同。一般來說，水—鈾反應在燃料包覆管的溫度達到 900 度左右時會開始變得明顯，因此推測溫度至少是在 900 度左右。所以，假設接近 900 度的氫氣從 IC 系統管線破洞持續外洩到核反應爐建築物 4 樓的話，密閉性高的 4 樓空間有可能因為自然起火發生氫氣爆炸。

另外東京電力認為的 5 樓氫氣爆炸論點中，有「起火源是什麼？」這樣沒有解釋清楚的根本性問題。1 號機的核子反應爐建築物最上層的 5 樓是相當簡樸的構造，推論被初春冷空氣包圍著的核子反應爐建築物 5 樓，其室溫在爆炸前一刻不會變得太高，很難想像會自然起火，沒有什麼起火源的 5 樓，應該不會發生氫氣爆炸。但是東京電力最終報告書裡寫著「因為某種原因起火」，沒有給出 5 樓發生氫爆原因的具體起火源。

### iii 對政府事故調報告書的批判

政府事故調的報告書當中，認為 IC 系統管線沒有破損（政府事故調「中期報告」84~87 頁），但其根據在於每個都是大規模破洞（斷頭式破損）。

但是，在核電事故中應當是問題的管線破損並不是只限於斷頭式破損的大規模破洞。

1 號機事故沒有發生大規模破洞的現象可以從東京電力公開發表的數據



中看到，應該注意的地方在於，不會立即顯示核反應爐的壓力及水位變化的 IC 系統管線是否有破損，燃料損壞、燃料融解，最終發生氫爆時是否有產生相關的小規模破洞。但是政府事故調的報告書中卻沒有任何答案。

#### iv 對東京電力報告書的批判

東京電力用原本紀錄下來的實地震動進行 1 號機緊急用冷凝器的地震應對解析，確認了推定發生應力非常低於評估基準值（東京電力報告書附加資料「6—7」），1 號機核子反應爐建築物中所設置的緊急用冷凝器本體、主要管線及主要閥門，以目視的方式確認沒有使反應爐喪失冷卻的損傷（東京電力報告書 100 頁），認為 IC 系統管線沒有因為地震受到損傷。但是以一般的強度解析與目視確認，是沒辦法保證老舊構造物的安全性的，以東京電力的根據來說是無法說 IC 系統管線沒有損傷的。

#### v 結論

如同以上所述，第一核電廠 1 號機 4 樓最初發生氫爆的可能性相當高。4 樓的氫爆因為地震的關係使得 IC 系統管線發生破損，氫氣外洩，導致自然起火而發生爆炸。

也就是說，可以認為第一核電廠 1 號機不是因為海嘯，而是因為地震產生損傷的可能性很高。

### (2) 小結

以上所述的，第一核電廠的耐震設計從一開始就是基於過低的地震波來進行設定，是耐震性不夠的設計，而在那之後隨著地震科學的進步，也沒有隨之反應出最新的科學見解。另外，不僅是國家的耐震設計基準的設定、改訂而已，關於改訂基準的再檢查，也只進行了極為限定的檢查，幾乎都是未完成的狀態。也就是說，第一核電廠的耐震設計很有可能連國家基準都沒有達到，是非常脆弱的。然後在現實情況中，第一核電廠 1 號機有很高的可能性是因地震而損傷，引發氫爆。

### 3 老舊化的問題

### (1) 核電廠的預設壽命及老舊化的問題點

我國開始建設核電廠的時候，國家所預設的核電廠壽命最長是40年。1970年代，當時的業者所寫的设置申請書中，以核子反應爐的壓力容器壽命40年為前提(實際運轉期間32年)，推測因為被中子照射的關係，容器鋼材會變得脆弱。另外1980年代，就未來核電廠將會經年累月劣化的問題，日本原子力研究所的研究者所寫的總論中也開始一樣的討論。

另外「核原料物質・核燃料物質及核子反應爐的規定限制相關法律」(2012年6月27日修正)的第43條之3之31「〈運轉的期間〉」第1項中，規定了「發電用核子反應爐設置者在其所設置的發電用核子爐的可運轉期間，是從最初該發電用核子反應爐的设置工程開始，依第43條之3之11第1項的檢查合格日起算40年。」，從這個規定中也可以很明顯地瞭解，現階段的日本做為一個國家，將核子反應爐的壽命設想為40年。

此外，同條的第2項中，規定了「前項的期間，在期滿之際，受到原子力規制委員會的認可後，最多可延長一次。」，第3項中規定「依前項規定所延長的期間，不可超過政令所規定的20年期間。」

根據這些規定，可以認為國家決定認同的核子反應爐運用方針，設想核子反應爐的壽命在原則上是40年，最多可以達到60年。但是，核子反應爐等隨著時間過去會變得老舊。然後也有人指出核子反應爐的運轉期間變長了之後，會提高發生在核子反應爐的事故・故障的年發生率。(高木仁三郎《核設施與緊急事態—以地震對策的驗證為中心》1995年「日本物理學會誌」50卷10號)