

第2回事故原因究明等委員会議事要旨

日 時 平成14年1月5日(土) 13:30~16:40

場 所 フォーレスト本郷1階会議室

出席者 吉村太彦委員長、笹島孝夫、鈴木厚人、中村健蔵、H.Sobel(通訳:東京大学宇宙線研究所 梶田隆章教授)、藤原俊隆、松本洋一郎、鈴木洋一郎、戸塚洋二(幹事)の各委員及び堀井秀之専門委員

オブザーバー 小間 篤東京大学事故対策委員長、石川正俊東京大学広報委員長、菅原寛孝高エネルギー加速器研究機構長

吉村委員長から、前回欠席された松本洋一郎、H.Sobel委員及び新たに専門委員として加わる東京大学工学部社会基盤工学専攻堀井秀之教授の紹介があった後、前回委員会以後の状況について以下の説明があった。

平成13年11月28日に開催された第1回事故対策委員会(小間委員長)において概ね次のことが今後の対策・方針として了承された。

スーパーカミオカンデ(以下「SK」という)建設時の安全委員会の記録を精査する。

SKの建設にあたって、余裕度又は安全係数をどの程度見込んだのかという数値についても調査する。

事故原因の調査を優先しつつ、併せて、現存の光電子増倍管(以下「増倍管」という)スペアで実験を再開する方向で検討する。

平成14年度の本件対策に係る経費の確保については、委員長に一任する。

復旧後の研究再開に向けて、国際的評価機関を設置し、評価や意見等を聞くシステムを構築することを検討する。

議 事

1. 事故原因調査報告

戸塚幹事から、大略以下のとおり現地対策班による調査報告があった。

配布報告書は、平成13年11月22日から現在までの調査をまとめたものである。

現段階で確認した被害は、内水槽では、破壊された増倍管6,777本、使用可能な増倍管4,369本であり、外水槽では、破壊された増倍管1,100本、使用可能な

増倍管785本である。また、接続されているケーブル及びプラスチックシートについては、現時点では確認できないため排水時に確認する。

水槽本体及び岩盤の被害については、依然として4.2t/時の漏水があるが、建設業者の試算等により確認したところ、大きな被害は無いものと確認した。漏水については、音波探知機を用いて調査した結果、3箇所から音が発生しているが、目視検査では確認出来ないため、排水時に確認する。

1 本目の増倍管破損の要因について

- ・ 外的要因として考えられる坑内発破作業、山はね、地震等による突発的な岩盤変化及びアンカーボルト部の変形については、該当するものが無かった事が確認された。
- ・ 水中にあった増倍管と保管してあった増倍管のガラス分析を行ったところ、組成及び強度に差異は無く、加圧変化、経年変化、水中変化は無かった事が確認された。
- ・ 交換した（水中にあった）増倍管の中から9本を用い、6.5気圧24時間経過後加圧検査を行ったところ、異常が無い事が確認された。
- ・ 交換した（水中にあった）増倍管及び保管してあった増倍管12本を用い、6.5気圧1時間の加圧を4回繰り返す圧力サイクル検査を行ったところ、異常が無いことが確認された。
- ・ 交換した（水中にあった）増倍管の中から9本を用い、常温から5度に下げ3時間経過したところで25度に上昇させる事を2度繰り返した後、加圧検査を行ったところ、異常が無い事が確認された。
- ・ 交換した（水中にあった）12本の増倍管を用いて底面作業のシミュレーションを行った後、6.5気圧で24時間放置の加圧試験を行ったところ、1本が破損した。
- ・ 水中にあった増倍管及び保管してあった増倍管の目視検査を行ったところ、水中にあった増倍管の1本に微小なクラックが発見された。

以上のことから、1本目の増倍管の破損要因としては、底面作業中または運搬作業中において与えた残留ストレスが高水圧下で破壊した可能性が考えられる。

最初に破損した増倍管の特定については、前回の報告で底面の増倍管10810を中心とする9本の内の1本が最初に爆縮したと考えられるとされていたが、さらにデータの解析を行った。改修時に交換した増倍管10850については、周辺放電光パターンの解析と信号頻度が他に比べて異常であるなどの理由により最初の爆縮球である疑いがある。また、水中にあった増倍管10810については、10月頃から断続的にバースト状のノイズを出していたため、破断に至る何らかの前兆現象の疑いがある。

以上のことから、増倍管10850と10810のどちらかが最初に破損した可能性が高い。

最初に破損した増倍管の爆縮による連鎖について

高速度カメラにより撮影された誘爆実験のビデオを放映した。

- ・ 9本の増倍管を正方形に組み水平に並べ、圧力計、歪計、高速度カメラを取り付けて水深30mの位置で中心の増倍管を爆縮させる実験を3回行った結果、3回とも誘爆が観測され、すべての増倍管が破壊された。
- ・ 中心の増倍管を爆縮させた場合、周りの8本の増倍管が一斉に誘爆するのではなく、ドミノ倒しのように連鎖反応が起こった。
- ・ データによる解析により、衝撃波の到来から誘爆・衝撃波の発生までに要する時間はほぼ10ミリから20ミリ秒であり、連鎖の後半で破壊された増倍管のほうが誘爆・衝撃波の発生までに要する時間が短くなる。
- ・ 今回提出されているシミュレーションの結果と実験結果は、衝撃圧の絶対値（シミュレーションの詳細に依存し値が異なる）を除いては概ね一致している
以上のことから、1本の増倍管の爆縮に伴う衝撃波の発生で、増倍管の連鎖破壊が起こることが確実である。

結論

- ・ 今回の事故は、まず底面にあった増倍管（改修時交換球10850または非交換球10810）が爆縮し衝撃波が発生、その衝撃波が隣接する増倍管を破壊し、さらに衝撃波を発生する、という一連の連鎖反応によって起きたものと考えられる。
- ・ 最初の爆縮球は、改修時の底面作業の際受けたストレスによりネック部の強度が弱まり、水深30mの水圧により破断したか、あるいはSK改修時に電極部等に損傷を受けた増倍管が水深30mの水圧で破断した可能性がある。
- ・ シミュレーションによると、衝撃波は約50cm離れた隣の増倍管のガラス部位置で、だいたい、0.05ミリ秒、130気圧のパルスとなって到着する。ただし、これらの値はシミュレーションの詳細に依存する。
- ・ SK底部において事故当時と同じ条件で衝撃波発生・伝播の再現実験を行ったところ、増倍管爆縮による衝撃波が隣接増倍管を破壊することが確かめられた。

事故原因調査報告について、大略以下のような質疑応答がなされた。

底面作業のシミュレーションは荷重を増やして行ったのか
作業時間を延ばして行った。

底面作業シミュレーション後の加圧実験時に増倍管1本が破損したが、ガラスにクラックが入っていたのが原因となるのか

実験前の目視検査では異常はなかった。

底面作業シミュレーション時には、取付金具を付けて行ったのか
その通り。

最初の爆縮を起こした可能性のある2本の増倍管について、作業時又は運搬時の傷が考えられるとあるが、製造時からあったものなのか

取り付け前には正常な信号が得られており、取り付け後に異常が見られた。このことから、製造時とは考えられない。

注水したときから高電圧をかけていたのか

超新星爆発の観測のため、注水を始めてから高電圧をかけデータを取っていた。

誘爆実験時に、増倍管を固定する場合の締め付け方によって影響があったのか
2種類の締め付け方法で実験したが、影響は無かった。

ガラスそのものの強度については、かなりばらつきがあり、作業中のストレスが原因であると断定するのは難しいのではないか。

ばらつきは仕様範囲内だった。

1本の増倍管が爆縮したことにより大きな衝撃波が生じることを予見することは難しかったのではないか

続いて戸塚幹事から、今後の対策について大略以下のとおり報告があった。

作業手順の改良

- ・ 作業時に増倍管に対して極力ストレスを与えない作業手順を再度整備する。
- ・ 監督員（研究者）を増員し、常に増倍管の目視検査を行う。

増倍管に衝撃波防止ケースを取り付けること

- ・ ケースに小孔を開ける。増倍管が爆縮した時、真空状態になったケース内部に数秒間かけて純水を流入させるようにする。
- ・ 増倍管の受光面及びその近傍は透明度の良い紫外線透過型アクリルが最適である。
- ・ 全面アクリル製、コネクター部はFRP（ガラス繊維で補強したプラスチック）製で受光面はアクリル製、及びコネクター部はステンレス製で受光面はアクリル製の3案のサンプルを試作する。
- ・ SK排水前に各サンプルの誘爆実験を行い、どのタイプを採用するか決めたい。

高耐水圧増倍管の開発

- ・ 本事故とは無関係に試験開発をしているもので、形状は真球としガラス厚は7ミリとすると、この球の限界耐圧は200気圧以上になる。今後、電気的特性を含めて開発を進めていく。

今後の対策について、大略以下のような質疑応答がなされた。

増倍管とケースの固定方法は

技術的に検討が必要である。

水槽内増倍管全部にケースをする必要はないのではないか

水中にあった衝撃波を受けた増倍管を水深の浅いところで使う予定だが、衝撃波でガラスが弱くなっている可能性があり、今後検討することになる。

サンプルの実証実験は、全部にケースをするのか

9本の中心にある増倍管にケースを付けるだけで、周囲の増倍管はそのままでも良いと考えている。

底面の増倍管の交換時に作業をし易くするため、随時足場を組めるように改造しておいたほうが良いのではないかと

漏水はどうなるのか

排水時に漏水箇所を特定したい。

改修時に水槽底面のステンレスが地下水圧により破断したこともあり、今回の排水についても十分考慮する必要があるのではないかと

バルブを数箇所取り付け、水位が50cm程度に下がった時点でバルブから排水し、地下の水圧を下げるようにする。

破損しなかった増倍管を再配置して使用することになるが、安全性は確保されるのか

水面下にある水中に残った増倍管については全部再検査をし、安全性を確認する。また、その増倍管については、水圧の低いところに取り付けることを考える。

水深の浅いところでの誘爆実験を行うのか

深いところでの実験結果にもよるが、必要なら1月中に行いたい。また、実験終了後直ちに排水を開始したいと考えている。

続いて吉村委員長から、現時点までの事故原因の結論について諮られ、現地事故対策班の報告による結論を修正のうえ、上記1.事故原因調査報告のとおり承認された。

また、今後の対策については、各サンプルの誘爆実験の結果報告を基に検討することです承された。

次回は、誘爆実験終了後に開催されることとされた。

以 上