

# 災害調査報告書

劇場で発生した舞台装置での  
はさまれ災害

(要約版)

労働安全衛生総合研究所

## 要旨

本災害は、劇場の舞台装置において、前後に移動するスライディングステージ下部に取り付けられた落下防止柵を点検するため、上下に移動する大迫りに 5 名の作業員が乗り、上昇させていたところ、本来、スライディングステージの下で自動的に停止するはずが、停止用リミットスイッチが機能せず、落下防止柵と大迫りとの間に作業員達のはさまれ死傷した災害である。停止用リミットスイッチが機能しなかった原因を調査するため、舞台ステージの制御システム及び構成要素を検証するとともに、災害発生時の停止用リミットスイッチの写真からローラーレバー回転角度を推定した。その結果、本災害の原因は、ローラーレバーを作動させるストライカーとリミットスイッチとの間隔が適切でなく、ローラーレバーが必要量押し込まれなかったためと推察された。同種災害の再発防止のため、制御システム構成と装置操作方法の両面から考えられる方策を提言した。

## 1. 災害発生状況

劇場で図 1 に示す舞台装置を保守点検中、前後に移動する舞台ステージ(スライディングステージ)の下部に取り付けられている落下防止柵の駆動部を点検するため、上下に移動する舞台ステージ(大迫り①)の真上にスライディングステージを移動させてから、舞台下約 10 m の奈落の位置で大迫り①に 5 名の作業員が乗り、地下電気室にある点検時専用の操作盤を操作して大迫り①を 10 m/min の速度で上昇させていた。大迫り①は、点検の際は、大迫りを支持するガイドレール支柱のうちの 1 つに設けられた減速用及び停止用の 2 個のリミットスイッチにより、スライディングステージの下約 1.5 m の位置で自動的に停止する設計であった。

しかし、災害発生時、減速用リミットスイッチは正常に機能して OFF となり、大迫り①が 1 m/min まで減速したものの、停止用リミットスイッチが機能せず、大迫り①が上昇し続け、減速用リミットスイッチのローラーレバーを押し込む金属製のドグ(ストライカー)の終端まで達してローラーレバーが離れてしまった。このため、減速用リミットスイッチが再び ON となり、大迫り①が加速しながら上昇、作業員達が落下防止柵と大迫り①の間にはさまれ被災した。

## 2. 舞台装置の概要

当該舞台装置は、図 1 に示すように、上下に昇降可能な 2 つの舞台ステージ(大迫り①と大迫り②)、舞台前後に移動可能なスライディングステージ、スライディングステージ下部に内蔵された落下防止柵、その他周辺装置から構成される。落下防止柵は、大迫り①が奈落位置(舞台面から約 10 m 下)に降下している際に舞台からの転落を防ぐための柵状の金属製構造物である。通常の公演では、大迫り①が舞台の前方(客席側)に、その後方にスライディングステージが位置した状態で固定され、大迫り②はスライディングステージの下方にあ

る。大道具の交換や演出上の必要などに応じて、大迫り①を奈落に降ろし、スライディングステージを大迫り①のあった空間に移動、空いた舞台後方を大迫り②を上昇させて埋める。各ステージの前進・後進・上昇・下降の操作は舞台下手にある操作盤で行われる。

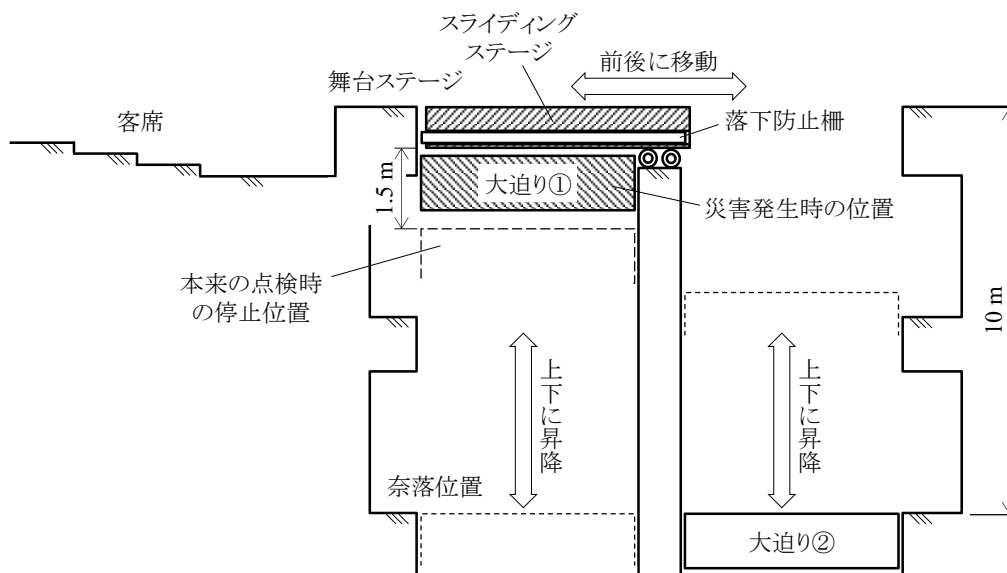


図 1 舞台装置の構成(断面図)

これに対し、スライディングステージや落下防止柵の保守点検は、大迫り①を奈落に降下させ、スライディングステージを前進させてから、作業員が大迫り①に乗り、大迫り①を落下防止柵の下約 1.5 m の位置まで上昇させる手順で行われていた。この場合の大迫り①は、図 2 に示すように、大迫りを支持するガイドレール支柱の 4 本のうちの 1 つに設置された減速用及び停止用の 2 つのリミットスイッチ(減速用 LS と停止用 LS)のローラーレバーが、大迫り①のフレームに取り付けられた金属製のドグ(ストライカー)と接して順次作動する(OFF となる)ことで自動的に減速・停止する設計であった。減速用 LS と停止用 LS はスライディングステージの保守点検を大迫り①に乗って行う目的で設計時から設けられていた。ただし、当初は、大迫り①を所定の位置で停止させた後、改めて作業員が大迫り①に乗り込む作業手順が想定されていた。また、点検の際、大迫り①の昇降操作は、地下にある配電盤等を設置している電気室の中で、点検時にのみ使用される専用の操作盤で行われていた。操作者が電気室から大迫り①の状態を直接確認することは不可能で、点検中は操作者と大迫りに搭乗した作業者が無線で合図を送りあっていた。

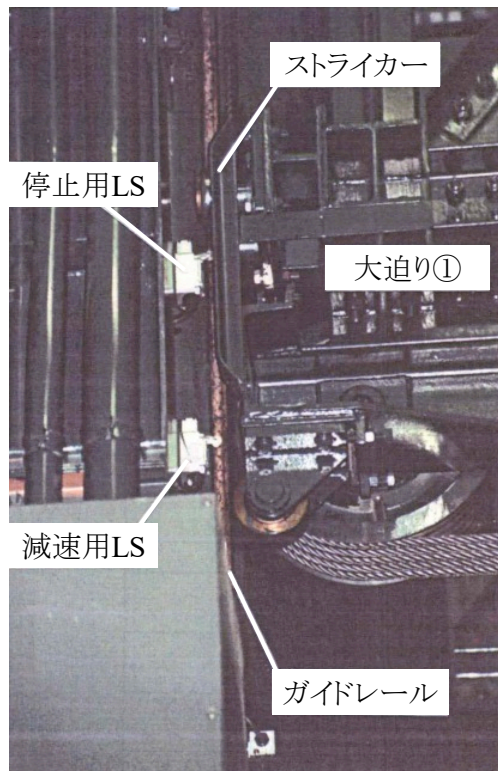


図 2 リミットスイッチの使用状況(災害発生時)

### 3. 再現実験の結果

災害発生後、当該舞台装置を用いた再現実験が以下の手順で行われた。

手順(1) 通常運転用の操作盤を操作し、大迫り①を奈落まで降下させる。

手順(2) 通常運転用の操作盤を操作し、スライディングステージを客席側位置に前進させる。

手順(3) 点検時用の操作盤にある上昇ボタンを操作し、奈落にあった大迫り①を上昇させる。

この操作によって大迫り①は次のように動作した。

- (1) はじめに大迫り①が約 10 m/min で上昇を開始した。
- (2) 大迫り①が十分上昇し、減速用 LS のローラーレバーとストライカーが接した。
- (3) 減速用 LS が機能し、大迫り①が約 1 m/min に減速した。
- (4) この速度で大迫り①がさらに上昇し、停止用 LS のローラーレバーとストライカーが接した。
- (5) しかし、大迫り①は停止せず、上昇し続けた。
- (6) 減速用 LS のローラーレバーがストライカーから離れ、その結果、大迫り①が再び加速した。この時点でも停止用 LS のローラーレバーとストライカーは接した状態にあった。

以上のことから、本来、スライディングステージの下方で停止するはずの大迫り①が上昇を続けた原因は、停止用 LS 及び停止機能に関連する制御システムの一部が何らかの理由で

機能しなかったためであることが明らかとなった。

#### 4. 災害に関連した装置に関する調査結果

##### 4. 1 制御システムの調査結果

再現実験の結果を踏まえ、大迫り①の昇降動作に関連する制御システムを調査した。制御システムは、モータを制御するインバータ回路とこれに指令を与えるシーケンス制御回路から構成される。その概要を図 3 に示す。モータ制御回路の正逆転や速度設定などに接続されたリレー接点が ON/OFF することでインバータ回路が操作され、それに応じた駆動出力がモータに印加される。モータ回転速度(すなわち、大迫り①の動作速度)は、高速動作の条件が成立したときに約 10 m/min、これ以外は約 1 m/min となるよう、高速指令と低速指令とが連動して切り換わる形で制御される。

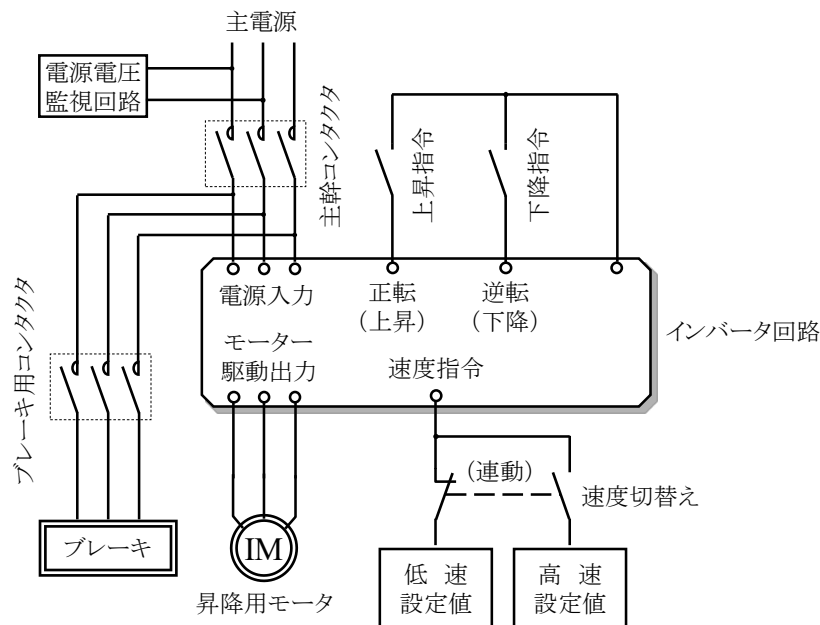


図 3 大迫り①の制御システムの構成

点検時の運転モードでの上昇指令のシーケンス回路図とインターロック条件を各々図 4 と表 1 に示す。上昇指令が一旦許可されると、上昇ボタンが押されている間、停止用 LS が OFF にならない限り大迫り①が停止しない構成であった。なお、通常運転時の上昇許可条件とは、スライディングステージが大迫り②の位置でロックされていることや落下防止柵がスライディングステージに収納されていることなど複数の条件の総称であり、点検時の上昇が許可されるには、これらのいずれかが成立していないことが必要である(点検時はスライディングステージと落下防止柵を大迫り①の位置に移動させるため、通常運転時の上昇許可条件が成立しない)。これは、点検時にしか使用されない停止用 LS と減速用 LS を通常運転

時には制御システム上で無効化するための措置として組み込まれたものである。また、上限 LS とは、大迫り①が上昇限界位置である舞台面に達したときにストライカーと接して作動するリミットスイッチである。

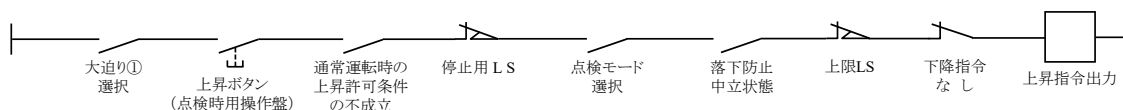


図 4 点検時の上昇指令のシーケンス回路

表 1 点検時の上昇指令のインターロック条件

接点名称	上昇指令が ON になる条件	信号発生要素	接点の種類 <sup>注)</sup>
大迫り①選択	点検時用操作盤で「大迫り No.1」が選択されている。	操作ボタン	メーク接点 (a 接点)
上昇ボタン	点検時用操作盤で「上昇」ボタンが押されている。	操作ボタン	メーク接点 (a 接点)
通常運転時の上昇許可条件の不成立	大迫り①の上昇が許可される複数の条件のいずれかが満たされていない (停止用 LS と減速用 LS を有効化するための条件)。	リレー回路出力	メーク接点 (a 接点)
停止用 LS	停止用 LS が作動していない (ストライカーに接していない)。	リミットスイッチ	ブレイク接点 (b 接点)
点検モード選択	点検時用操作盤で点検モードが選択されている。	キースイッチ	メーク接点 (a 接点)
落下防止中立位置	落下防止柵がスライディングステージに格納されている。	近接センサ	メーク接点 (a 接点)
上限 LS	上限 LS が作動していない (ストライカーに接していない)。	リミットスイッチ	ブレイク接点 (b 接点)
下降指令なし	下降指令が OFF である。	リレー回路出力	ブレイク接点 (b 接点)

注記 メーク接点：常時開いていて操作したときに閉じる接点。a 接点ともいう。  
ブレイク接点：常時閉じていて操作したときに開く接点。b 接点ともいう。

点検時の運転モードでの高速指令のシーケンス回路図とインターロック条件を各々図 5 と表 2 に示す。高速指令が一旦許可されると、上昇指令が ON である間、減速用 LS が OFF にならない限り大迫り①が減速しない構成であり、大迫り①が上昇し過ぎて減速用 LS のローラーレバーがストライカーから離れると、低速から自動的に高速へ加速する構成であった。

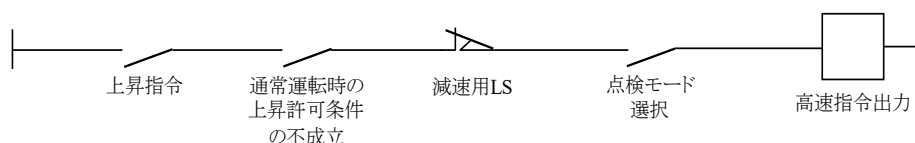


図 5 点検時の高速指令のシーケンス回路

表 2 点検時の高速指令のインターロック条件

接点名称	上昇指令が ON になる条件	信号発生要素	接点の種類
上昇指令	上昇指令が ON の状態にある。	リレー回路出力	メーク接点 (a 接点)
通常運転時の上昇許可条件の不成立	大迫り①の上昇が許可される複数の条件のいずれかが満たされていない（停止用 LS と減速用 LS を有効化するための条件）。	リレー回路出力	メーク接点 (a 接点)
減速用 LS	減速用 LS が作動していない（ストライカーに接していない）	リミットスイッチ	ブレーク接点 (b 接点)
点検モード選択	点検時用操作盤で点検モードが選択されている。	キースイッチ	メーク接点 (a 接点)

#### 4. 2 制御システムの構成要素の調査結果

大迫り①の制御システムにおいて、制御信号を発生・伝達する要素について調査した。その結果を以下に述べる。

##### 4. 2. 1 電磁リレー

点検時の大迫り①の上昇に特に関与する制御盤内の電磁リレーとして、減速用 LS がストライカーに接した際に作動するリレーA、停止用 LS がストライカーに接した際に作動するリレーB、通常運転時の上昇許可条件が成立することで作動するリレーC の 3 つを検討した。これらは全て同一製品で、バックチェック機能などを有するいわゆる安全リレーではなく、一般の制御機器に使用される汎用リレーであった。制御システムの構成上、3 つのリレーにおいて接点不良は安全側故障となるが、溶着を生じると上昇指令を停止できないことが分かった。そこで、使用時の接点電流を回路図から各リレーに接続されているリレー／コンタクタを励磁するのに必要な電流として推定し、製品仕様と比較した。その結果、接点電流はいずれも定格通電電流の 1% 以下であり、突入電流の影響を考慮しても溶着を生じる可能性は極めて低いと考えられた。さらに、機械的・電氣的寿命及び耐振動・耐衝撃性能の観点からも特に問題はなかった。

なお、災害発生後の検証でも、点検時の大迫り①の上昇／減速／停止に関わるリレー及び回路に関して次のことが確認されている。

- (1) スライディングステージが大迫り①の位置にある場合、通常運転時の上昇許可条件が成立していないので、リレーA 及び B は作動する状態にあった。リレーC に特に異常はなかった。
- (2) 上記(1)の条件で大迫り①を上昇させた場合、ストライカーが減速 LS のローラーレバーと接した時点でリレーA が作動して低速モードとなった。
- (3) ストライカーと減速 LS のローラーレバーが接した状態で、さらに大迫り①が上昇し、停

止 LS のローラーレバーにストライカーが接したとき、リレーB は作動しなかった。ただし、リレーB 自体には接点不良・断線・溶着などの異常はなかった。

#### 4. 2. 2 モータ及びインバータ回路

大迫り①を駆動するモータのインバータ回路はモータの電気的特性・負荷特性に合わせて適切に調整された製品であり、その使用において特に問題はなかった。再現実験の際も、正常に動作しており、モータ及びインバータ回路に異常はなかったことが確認されている。

#### 4. 2. 3 操作盤及びコマンドスイッチ

点検の際、大迫り①の昇降は、地下3階の電気室内にある点検時専用の操作盤で操作されていた。通常運転時に使用する操作盤と点検時用操作盤との切り替えは鍵によって行われ、どちらか一方が使用されている間はもう一方の操作盤に鍵を差し込んでも使用できない設計であった。

点検時用操作盤において、上昇ボタン(コマンドスイッチ)の接点に溶着が生じた場合、手を離しても上昇指令を中断できない。そこで、接点に流れる電流を回路図から推定し、製品仕様と比較したが、接点電流は最大 12.7mA で定格使用電流の 1.3%以下であり、突入電流の影響を考慮しても溶着を生じる可能性は極めて低いと考えられた。再現実験の際も、正常に動作しており、操作盤に異常はなかったことが確認されている。

#### 4. 2. 4 停止用リミットスイッチ

停止用 LS 及び減速用 LS には同一の製品が使用されており、ストライカーが接してローラーレバー及び回転軸が作動角度以上に回転すると、回転機構部のカムがスイッチ本体内部のピンを押し、これによって接点が開く(OFF となる)構造のものであった。制御システムの構成上、停止用 LS の接点に溶着を生じると上昇指令を停止できない。そこで、使用時に接点に流れる電流を回路図から推定し、製品仕様と比較した。その結果、接点電流は約 12.7mA とされたが、製品仕様にある定格接点電流に対して十分に小さく、突入時のピーク電流の影響を考慮しても溶着を生じる可能性は極めて低いことがわかった。

また、ローラーレバー及びストライカーの機械的不具合について、災害発生当時に撮影された写真から、外見上の異常について調べた。それらのうちの 1 枚を図 6 に示す。ストライカーの一部に上下に削り傷のような跡があり、さらに、レバー先端のローラーにも磨耗した形跡があった。





図 6 災害発生当時の停止用 LS の外観

回転軸及び回転軸機構の破損については、次のことが確認された。

- 1) ローラーレバーが取り付けられている回転軸及びこれに連結しているバネやカム等の破損状態については、破損・歪み・変型等の異常はなかったこと。
- 2) ローラーレバーと回転軸との結合部分で両者が滑りを生じるような不具合の有無。例えば、六角穴付ボルトの緩み、回転軸のローレット加工部の磨耗などについては、磨耗はあったもののマイクロレベルの小さなものであったこと。

以上より、停止用 LS の回転軸機構には特に異常はなかったと考えられた。

また、停止用 LS が OFF となるのに必要なレバー回転角度(プレトラベル値:PT 値)に関しても、災害発生当時の停止用 LS の状況を確認したところ次のとおりであった。

- 3) ローラーレバーがストライカーに触れていない状態(バネで復帰した状態)での回転機構部に対するローラーレバーのオフセット角度は約  $90^{\circ}$  であったこと。
  - 4) 停止用 LS の PT 値、すなわち、ストライカーが触れてリミットスイッチが OFF となるときのレバー角度とオフセット角度との差は約  $30^{\circ}$  であったこと。
- 3)と 4)の値はいずれも製品仕様の値と一致するものであった。以上のオフセット角度、PT 値、レバーの寸法などから、停止用 LS が OFF となるには、図 7 に示すように、自由位置より 5.1 mm 以上ストライカーに押し込まれる必要があることが分かった。

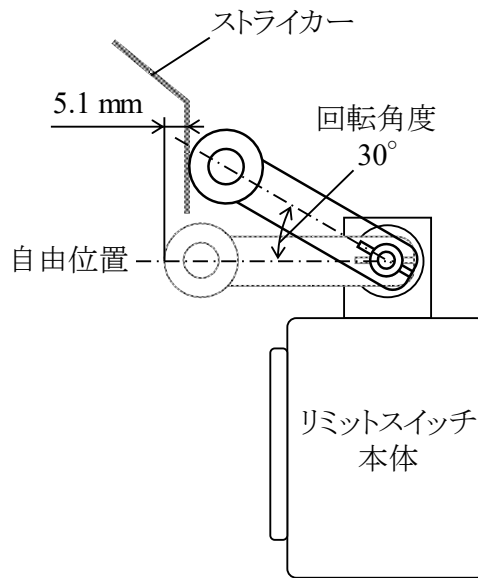


図 7 作動に必要なローラーレバーの変位

そこで、災害発生後に行われた再現実験の際に撮影された停止用 LS の写真(図 8)に基づき、ローラーがストライカーに接してレバーが押し込まれた状態を分析し、停止用 LS のレバー回転角度を推定したところ、約  $25^\circ$  となった(なお、災害発生時はこの状態で LS が機能せずストライカーを通過したが、再現実験時は非常停止スイッチを用いて大迫り①を停止させ撮影が行われた)。この値は、停止用 LS の接点が OFF となるのに必要な PT 値  $30^\circ$  に達しない。このため、災害発生時、停止用 LS が機能せず、大迫り①が上昇を続けたと考えられる。

#### 4.4.2 リミットスイッチの支持部とストライカー

停止用 LS が正常に機能するためには、ストライカーと LS を支持する台座との設置状況や位置関係が重要である。そのため、舞台装置の設計図面、災害発生時に撮影された現場写真、ならびに、復旧修理を受けた舞台装置の実測結果から当時の機能を推定した。

停止用 LS は、大迫り①を支持する 4 本のガイドレールを支える柱のうち、上手客席側の柱に奈落位置から約 4.6 m 上方に台座を介して設置されていた。復旧修理後の停止用 LS の設置状況を図 8 と図 9 に示す。台座は、中央に切り込みの入った鉄製ブロックで、停止用 LS の位置調節が可能なよう、レール支柱にある鉄製アングルをボルト 2 本でクランプする形で設置されており、溶接などによって強固に固定されてはいなかった。他方、停止用 LS を作動させるストライカーは、傾斜部分の角度や本体の強度などに特に問題はなかった。ただし、大迫り①のフレームにボルト 2 本で設置されていたが、ボルトを通す穴が長穴となっており、前後に位置が調節可能な取付けであった。

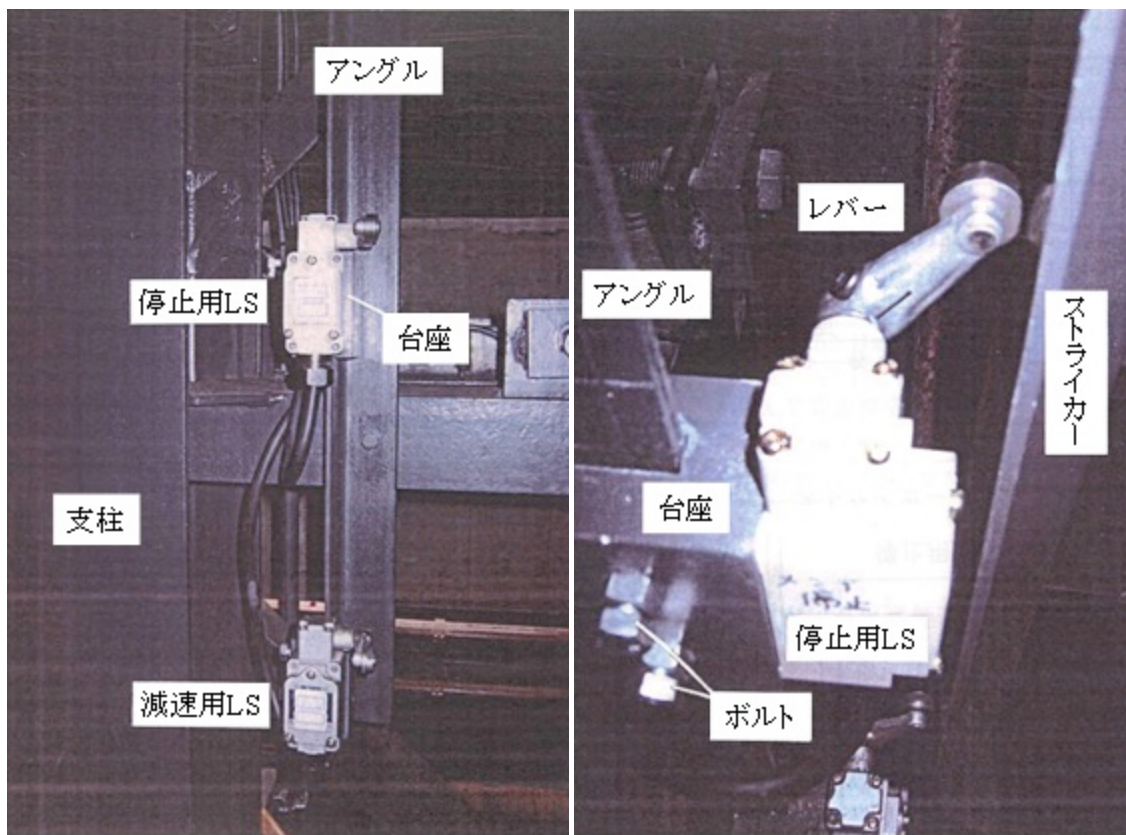


図 8 停止用 LS と減速用 LS の設置状況 図 9 停止用 LS の台座固定状況(復旧修理後)  
(復旧修理後) (復旧修理後)

設計図上でストライカーと台座との距離は、最も接近すると 50 mm であった。停止用 LS の寸法を考慮すると、このときにローラーレバーが押し込まれる変位は 10.3 mm、回転角度は 43.1° であり、PT 値を 13.1° 上回るものの変位としては 5.2 mm の余裕しかないことが分かった。一方、復旧後に舞台装置を実測した結果、ストライカーと台座との距離は、最も接近する状態で 48.1 mm、ローラーレバーの押し込み変位は 12.2 mm、回転角度は 47.2° となっていた。設計値よりも間隔が狭いが、これは、停止用 LS の実際の動作状況を見て現場で調節されたためであった。なお、このような調節は装置据え付けの際に行われただけであり、完成後から本災害の発生までの間に一度も行われていなかったとのことであった。

## 5. 災害原因の推定

以上の調査結果より、停止用 LS が機能せず大迫り①が上昇を続けた原因は、停止 LS のローラーレバーがストライカーと接したものの押し込みが不足してローラーレバー回転角度が PT 値に達せず、このため接点が OFF とならなかったためと考えられる。そこで、必要な量まで押し込まれずレバーの回転角度が不足した原因を推定した。その検討結果を表 3 に示

す。表 3 より、回転角度が不足した原因として次のものが考えられる。

- a) 当該舞台装置の据え付け時に回転角度を PT 値以上(設計図通りとすれば約 43°)としたにもかかわらず、その後の①衝撃・援動などによる LS の位置ずれ、②台座やストライカーの位置ずれ、③躯体構造の経年変化、④低温による躯体の収縮、⑤ストライカーの摩耗、⑥ローラーの摩耗などによって角度が変化し、最終的に停止用 LS を OFF とできない約 25 度に至った。なお、当所において同型品を入手して実測したところ、25.5° 以上回転すれば接点が OFF になることを確認している。
- b) LS とストライカーとの間隔が据え付け段階で既に広く、停止用 LS を OFF とできるぎりぎりの状態で動作していた。この状態で上記①～⑥の要因が作用したために、最終的に停止用 LS を OFF とできない約 25 度に至った。

また、本災害の間接的な原因として次のものが考えられる。

- ア) 減速用 LS のローラーレバーがストライカーから外れると大迫り①が直ちに高速となるように制御システムが構成されていたこと。
- イ) 操作者が大迫り①の動作を視認できない場所に点検時用操作盤が設けられていたこと。
- ウ) スライディングステージ及び落下防止柵の保守点検を行う場合の専用の設備や装置を設けていなかったこと。

## 6. 再発防止策の検討

### 6. 1 リミットスイッチ以外の手段による位置監視

同種災害の再発防止策として、大迫りが所定の位置を超えて上昇していないことの監視にリミットスイッチ以外の手段を使用することが考えられる。具体的には、透過型光線式安全装置(ライトカーテン)やレーザー式エリアセンサなど非接触式検知装置の利用がある。リミットスイッチとストライカーの間隔が変化した場合でも、大迫りの上昇を確実に検知できる利点がある。ただし、これらの装置を使用する場合、①JIS など安全規格に適合した十分な安全性能を有する装置を使用すること、②装置が位置ずれを起こしたときは大迫りの逸走を検知できなくなることもあるため、セルフチェック機能を備えるなどの対策をとる必要があること、③レーザーを用いる装置は、眼に障害を与えないよう、所定のクラス以下のものを使用すること、などの点に留意する必要がある。

### 6. 2 リミットスイッチによる位置監視

やむを得ずリミットスイッチを使用する場合、留意すべき点として以下が挙げられる。

- ① ストライカーとローラーの位置関係が正常であることを常時確認する必要がある。図 10 に具体的方法の例を示す。ただし、この方法は、比較的小型の設備を対象としたもので、当該舞台装置など大型の設備には一般に適さない。
- ② 上記①に代わる方法として、複数のリミットスイッチを使用し、同じ場所に複数設置するだけでなく、大迫りに対向するコーナー部に各々設けるなどの方法が考えられる。ただし、

設置場所によっては確実な検知が困難となる場合もある。

- ③ 機械的振動による不作動などを防止するため、必ず所定のオーバートラベル(O.T 値)を設定する。ここで、OT 値とは、リミットスイッチに作用する振動や衝撃などによって接点がばたついたり接触不良となったりすることを避けるために、PT 値に付加する余裕角度である。停止用 LS では OT 値が 60° であり、その 70~100% まで押し込むよう推奨されていた(図 11 参照)。

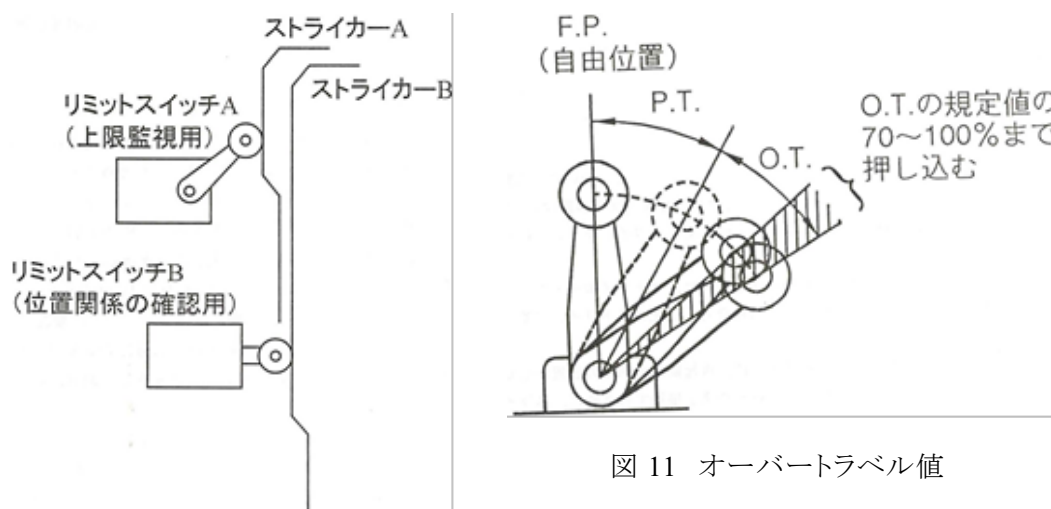


図 11 オーバートラベル値

2 個のストライカーを並列して設置し、一方のストライカーで位置監視用リミットスイッチを、他のストライカーでストライカーとローラーの位置関係を確認するリミットスイッチを作動させる。

図 10 ストライカーとローラーの位置関係を常時確認する方法

### 6. 3 操作方法／作業手順の見直し

点検の際、大迫りの昇降操作は、地下電気室にある点検時用操作盤で行われており、操作者が大迫りの動作を視認することは不可能であった。これに関しては、大迫りに搭乗した作業者が自ら大迫りの昇降を制御できるよう操作方式を変更すべきと考える。具体的には、作業者が操作機器のボタンを操作している間に限って大迫りが上昇、ボタンを離すと大迫りが停止するホールド・ツー・ラン制御方式を採用すること、さらに、操作機器には、ボタンを離れた場合のみならずボタンを強く押し込んだ場合にも大迫りが停止(すなわち、大迫りはボタンを適正に軽く押し込んだ状態でのみ上昇)する JIS C 8201-5-8 に定義された 3 ポジションイネーブルスイッチ又はこれと同等のデバイスを使用することが必要である。

また、当該舞台装置では、はじめにスライディングステージを大迫り①上に移動させてから、作業員が大迫り①に搭乗し大迫り①を上昇させるという順で点検が行われていたが、こ

れを改め、まず大迫り①を上方が空いた状態で所定の位置で停止させた後、危険のない適切なアクセス手段で作業員が大迫り①上に移動し、最後にスライディングステージを移動させる手順とすべきである。併せて、停止用 LS と減速用 LS の通常運転時の無効化は、点検時から通常運転時への運転モードの切り替えで行われるように制御システムのロジック構成も見直す必要がある。

#### **6. 4 制御システムのフェールセーフ化**

上記 6.1～6.3 の他、制御システムのうち安全上重要な部分は「工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドライン」(平成 10 年 7 月 28 日付け, 基発第 464 号)に基づきフェールセーフ化を図る必要がある。具体的な例として、低速切換後に高速への自動復帰を阻止するために、当該ガイドラインの第 4 章「ロ」に規定されているような再起動防止回路を適用することが考えられる。

#### **6. 5 その他の災害防止**

ここで述べたようなはさまれ災害の他、当該舞台装置では、点検作業中の大迫りからの墜落防止策について別途検討する必要がある。さらに、作業員が搭乗中、何らかの理由で大迫りが中間停止する場合も想定されるが、これに対して大迫りを奈落まで安全に降下させる方策の検討が必要である。

以上

表3 停止LSのローラーレバー回転角度が不足した原因の推定

No	可能性のある要因	直接原因の推定	「あった」とする根拠	「なかった」とする根拠	直接原因となった可能性	
1	リミットスイッチのローラー、レ	PT 値の異常	故障によって PT 値が異常となったために、ストライカーの押し込みが不足した。		・ PT 値は約 30° であり、異常のないことが確認されている。	なし。
2	バー、固定ボルト、回転軸及び	レバーの曲がり	レバーが曲がったために、ローラーとストライカーの間隙が変化した。		・ 左記事実のないことが確認されている。	なし。
3	回転機構部の異常	ローラーの摩耗	ローラーが摩耗したために、ストライカーの押し込みが不足した。	・ 撮影された写真では、摩耗の痕跡が認められた。		可能性あり。
4		ローラーの軸の曲がり	ローラーの軸が曲がったために、ローラーとストライカーの間隙が変化した。		・ 左記事実のないことが確認されている。	
5		レバーを固定するボルトの緩み	固定ボルトに緩みが生じたために、レバーの旋回をスイッチに伝達できなかった。		・ 左記不良のないことが確認されている。	
6		回転軸の破損	回転軸が破損したために、レバーの旋回をスイッチに伝達できなかった。		・ 左記破損のないことが確認されている。	
7		回転機構部の破損	回転機構部を構成するバネやカムなどが破損したために、レバーの旋回をスイッチに伝達できなかった。		・ 左記破損のないことが確認されている。	
8	リミットスイッチの支持部及びストライカーの異常	人為的な取付け位置の変更	何者かがリミットスイッチ、台座又はストライカーの位置を移動した。		・ 左記事実のないことが確認されている。	
9		躯体構造の経年変化	躯体構造の経年変化によって、ローラーとストライカーの間隙が変化した。	・ 間隔が設計値から 5.2 mm 広がると、スイッチの接点を OFF できなくなる。 ・ 災害発生当時の計測結果によれば、大迫りと躯体間は設計値より 7 mm ほど広がった。 ・ 設備据え付けから 10 年以上が経過している。 ・ 据え付け後、これまで調節は行われていない。		可能性あり。
10		低温による金属部材の収縮	温度変化によって躯体を構成する金属部材の収縮が起り、ローラーとストライカーの間隙が変化した。	・ 間隔が設計値から 5.2 mm 広がると、スイッチの接点を OFF できなくなる。 ・ 災害発生当時の計測結果によれば、大迫りと躯体間は設計値より 7 mm ほど広がった。 ・ リミットスイッチを取り付けたのが夏季のため、冬季は左記間隔が変化した可能性がある。	・ 使用開始から 10 回以上すでに冬季を経てきており、今冬だけ不具合に至った説明がつかない。	可能性あり。

表3 停止LSのローラーレバー回転角度が不足した原因の推定（続き）

No	可能性のある要因	直接原因の推定	・「あった」とする根拠	・「なかった」とする根拠	直接原因となった可能性	
11	リミットスイッチの支持部及びストライカーの異常 (続き)	リミットスイッチ、台座、ストライカー等の不適切な取付け	リミットスイッチ、台座又はストライカーを取り付けた当初から、ローラーとストライカーの間隔が設計値より大きかった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間隔が設計値から 5.2 mm 広がると、スイッチの接点を OFF できなくなる。</li> <li>・ 台座、ストライカーの取付け位置は調節可能であり、不適切な取付けを誘発しやすい。</li> </ul>	・ 使用開始から既に 10 年以上経過しており、これまで不具合がなかったことの説明がつかない。	可能性あり。
12		ストライカーの摩耗	リミットスイッチ、台座又はストライカーを傾けて取り付けたために、ローラーがストライカーに斜めに当たり、ローラーの端がストライカーの表面を摩耗し、ストライカーの押し込みが不足した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間隔が設計値から 5.2 mm 広がると、スイッチの接点を OFF できなくなる。</li> <li>・ 撮影された写真では、ローラーの端でストライカーを削ったと思われる跡があった。</li> <li>・ リミットスイッチを取り付けるためのボルトの穴が台座に対して傾いていた。</li> </ul>		可能性あり。
13		リミットスイッチ、台座、ストライカーの位置ずれ	リミットスイッチ、台座又はストライカーに作用する衝撃や振動のために、ローラーとストライカーの間隔が変化した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間隔が設計値から 5.2 mm 広がると、スイッチの接点を OFF できなくなる。</li> </ul>		可能性あり。