

# 災害調査報告書

## 強風による移動式クレーンの転倒災害

(要約版)

労働安全衛生総合研究所

## 1. 災害の概要

建築物解体工事現場において、鉄筋コンクリート造建築物の解体作業中に、作業員が移動式クレーンで重量約 3 トンのシャッターを 1.5 m 浮かせた後、当該移動式クレーンのエンジンを切り、休憩をとった。休憩後、作業員が当該移動式クレーンのエンジンを始動させたところ、荷重計の値が増加し、当該移動式クレーンは後方側に傾き始め、図 1 に示すように当該移動式クレーンは転倒した。なお、当該移動式クレーンの転倒によって物損が発生したものの、被災者は出なかった。

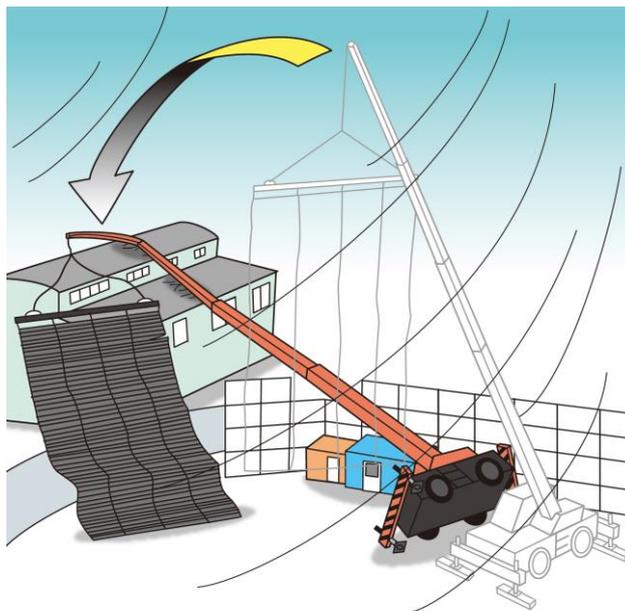


図 1 災害発生直後の移動式クレーンの様子

## 2. 発生状況の調査

当該移動式クレーンが転倒する前後の現場状況は図 2 に示すとおりである。なお、解体工事現場は傾斜地であったが、長さ 80 cm、幅 20 cm、高さ 13 cm の角材を当該移動式クレーンの左後方アウトリガーに 2 段、右後方アウトリガーに 1 段積むことで、当該移動式クレーンは水平に設置されていた。

転倒前の当該移動式クレーンは解体中の建屋方向を向いており、解体中の建屋からのコンクリート片等の飛散を防止するために重量約 3 トンのアルミ製シャッターをつり上げていた。その後、当該移動式クレーンは左後方アウトリガーを中心に反時計回りに回転して転倒した。転倒した当該移動式クレーンを確認したところ、左後方アウトリガーはクレーンから外れており、当該アウトリガーボックスは大きく変形していた。なお、左前方アウトリガーはほとんど張り出されていなかった。図 3 は、転倒の際に回転中心となった左後方アウトリガーボックス近傍の写真であり、クレーン前方側に向かって大きく変形していた。

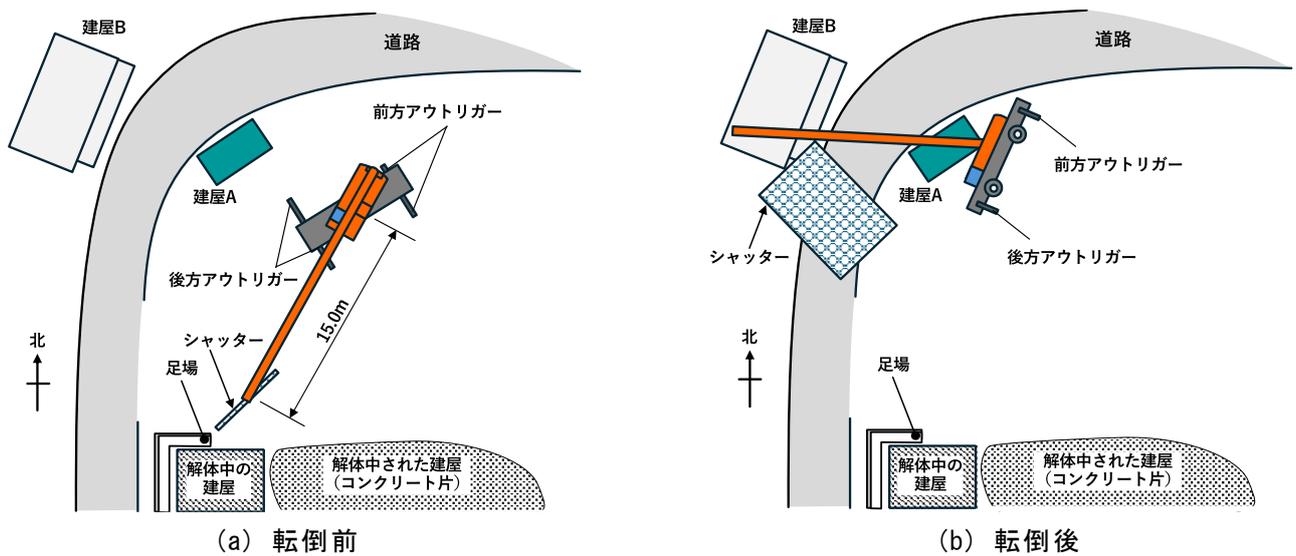


図 2 移動式クレーン転倒前後の状況



図 3 左後方アウトリガーが格納されるアウトリガーボックスの変形の様子

### 3. 転倒原因の検討

#### 3. 1 作業記録データの解析

当該移動式クレーンには、稼働中の時刻、ブームの角度、ブームの長さ、旋回角度等がロガーに記録されていた。そこで、これらの情報から当該移動式クレーンの転倒時の状態を解析する。クレーンオペレータの休憩前後において、当該移動式クレーンに記録されたデータを表 1 に示す。データの更新間隔は 2 秒である。クレーンオペレータが休憩後に、当該移動式クレーンのエンジンを始動させたところ、実荷重は休憩前に記録されていた 3.2 トンから突然 3.5 トンに増加し、38 秒後までほぼ単調に増加している。この間、ブーム角度は 57.4°から減少し、24 秒後から増減を繰り返しながら徐々に増加している。この 38 秒間における挙動は次のように推測できる。

- 1) エンジン始動後，図 4 の①に示すように，当該移動式クレーンが傾き始める．ブーム角度は水平な地面に対する角度であるため，22 秒後までブーム角度は減少する．同時に，実荷重はブームの油圧シリンダ部で計測しており，当該移動式クレーンが傾くことで，油圧シリンダに負荷される荷重が増加されることから，実荷重が微増する．このことは，再現実験で確認されている．
  - 2) 24 秒後から 38 秒後において，ブーム角度が増加していることから，図 4 の②に示すように，ブームを引き起こす操作をしていたものと考えられる．また，ブームの角度と実荷重は 34 秒後から 46 秒後まで大きく変動している．これは，当該移動式クレーンが傾き，前方アウトリガーが浮いた不安定な状態でブームを起こし続けたため，当該移動式クレーンが前後に大きく揺動していたと推察される．
- 40 秒後以降は，ブーム角度に大きな変化がないことから，当該移動式クレーンの傾きが増加するとともに，ブームを引き起こす操作が継続されていたものと考えられる．48 秒後には 0.0 トンになっていることから，この時点で転倒したものと言える．

表 1 当該移動式クレーンの転倒直前におけるブーム角度と実荷重

| 時間経過 (秒)   | ブーム角度 (°) | 実荷重 (ton) |
|------------|-----------|-----------|
| 休憩前        | 57.5      | 3.2       |
| 休憩後、エンジン始動 |           |           |
| 2          | 57.4      | 3.5       |
| 4          | 57.3      | 4.0       |
| 6          | 57.4      | 4.4       |
| 8          | 57.1      | 4.5       |
| 10         | 56.6      | 4.5       |
| 12         | 56.6      | 4.5       |
| 14         | 56.1      | 4.5       |
| 16         | 55.9      | 4.6       |
| 18         | 55.9      | 4.6       |
| 20         | 56.0      | 4.8       |
| 22         | 56.4      | 4.9       |
| 24         | 55.9      | 5.9       |
| 26         | 57.6      | 6.7       |
| 28         | 58.4      | 7.0       |
| 30         | 58.3      | 6.9       |
| 32         | 61.4      | 7.4       |
| 34         | 54.2      | 6.9       |
| 36         | 59.3      | 7.9       |
| 38         | 62.8      | 8.3       |
| 40         | 59.5      | 6.9       |
| 42         | 57.6      | 5.3       |
| 44         | 56.2      | 3.5       |
| 46         | 64.8      | 3.6       |
| 48         | 87.9      | 0.0       |
| 50         | 87.7      | 0.0       |

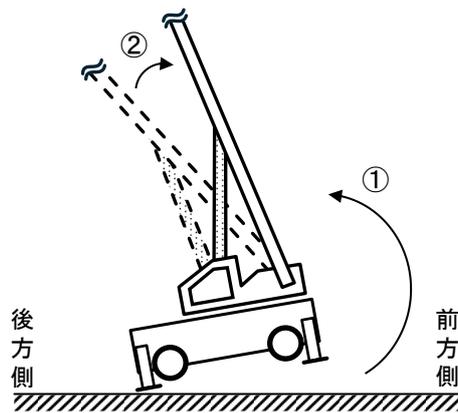


図4 考察されるブーム角度と実荷重の変動

### 3. 2 アウトリガーの破断面について

図3で示したように、転倒時に回転中心となった左後方アウトリガーボックス近傍は大きく損傷していた。そこで、当該移動式クレーンの転倒が左後方アウトリガーボックスの損傷によって起きたものであるか調査するために、アウトリガーボックスに形成された破断面の破断様式について、特に破断面の形成時期について調査した。破断面のある箇所を図5に示す。主な破断面はA、Bの2箇所認められる。破断面には、全体にわたり赤錆が生じており、これは災害発生後から調査実施までの間（約3ヶ月間）に生じた錆であると推定された。Aの領域について、その詳細を図6に示す。図中の青線に沿った領域は災害後の事後処理のために溶断された部分であることから、破断面ではない。一方で、図中の緑線に沿った領域は破断面である。

図6の緑線に沿った領域の詳細を図7に示す。上側は溶接金属の破断面であり、下側はアウトリガーボックスの鋼板の破断面である。アウトリガー周辺は、鋼材の結晶等が変化するような高温環境等ではないこと、また転倒した当該移動式クレーンは納入から転倒時まで約16ヶ月であり、その期間が短いことを考慮すると、鋼材または溶接金属の劣化による強度低下の可能性は低く、考慮すべき損傷のモードは疲労破壊もしくは延性破壊に絞られる。

目視観察で確認できる疲労破壊の破断面の特徴として、ラチェットマーク（もしくはステップ）と、ビーチマークが挙げられる。ラチェットマークはき裂の起点に形成され、ビーチマークは進展に伴い、例えば荷重の変動などにより形成される。しかし、図6で示した破断面には、赤錆があるためビーチマークを観察することはできないが、ラチェットマークについても観察はされない。したがって、この破断面は疲労破壊ではなく、延性破壊にて形成されたと推察される。また、破断部周辺の板の変形が激しいことから転倒時には鋼材の強度を上回る荷重を負荷されていたことが裏付けられ、これらの状況からも延性破壊であると推察される。よって、図5中のAの領域はクレーンの転倒時に形成された破断面であると推察される。一方、図5中のBの領域は図中の矢印の方向にアウトリガーボックスが引っ張られることによって形成された破断面と考えられ、こちらも転倒時に生じたと推察される。以上のことから、アウトリガーボックスに観察される破断面については、全てクレーンの転倒時に形成されたと推察される。

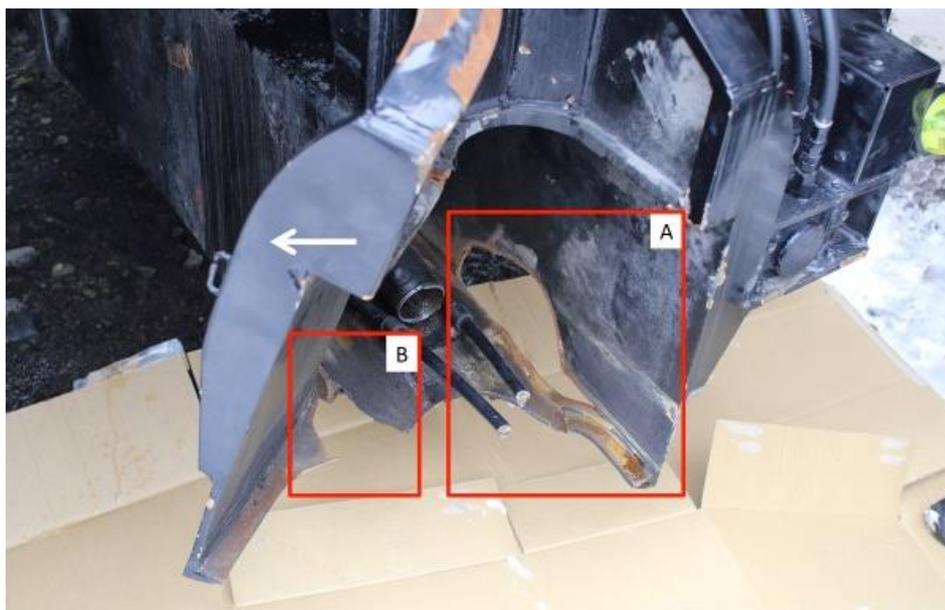


図5 左後方アウトリガーボックスの破損の様子



図6 A部近傍の状態（左後方アウトリガーボックス外側から）

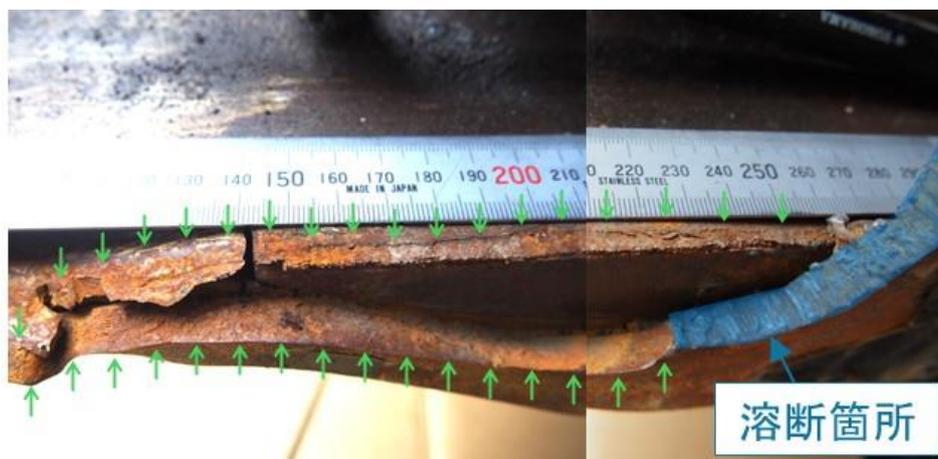


図7 溶断部と破断部の破断面の様子

### 3. 3 風荷重の影響

表 1 で示した当該移動式クレーンに記録された作業記録データの詳細解析から、当該移動式クレーンは何らかの原因により、後方アウトリガーを支点として、転倒したと考えられる。そこで、災害現場から最も近い気象観測所の気象データを確認したところ、災害発生時間付近で最大瞬間風速 14 m/s が発生していた。

当該移動式クレーンは、シャッターを飛散防止用ネットの代わりとしてついていた。図 8 に示すように、このシャッターの正面からシャッターに対して垂直に風が作用した場合の風荷重および風速  $v$  を計算したところ、当該移動式クレーンは風速 5.7 m/s より強い向い風を受けると、後方に転倒する可能性があることが分かった。

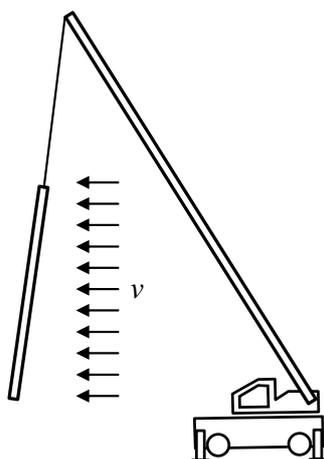


図8 クレーン前方側から後方側に向けて風が吹く場合

### 3. 4 地盤の影響

当該移動式クレーンが設置されていた解体工事現場は、正確な斜度は不明であるが傾斜している上、破碎コンクリート片が散らばっていた。加えて積雪があり、解体工事現場の地盤のコンディションは決していい状況ではなかったと考えられる。一方で、地盤の沈下が発生した場合、当該移動式クレーンが転倒する可能性があるが、労働基準監督署の現場調査によると、地盤沈下の跡は確認されていない。また、当該移動式クレーンが傾斜し

始めてから転倒にいたるまでに 40 秒程度かかっている。これらのことから、当該移動式クレーンが転倒した原因として、地盤の影響による可能性は低い。

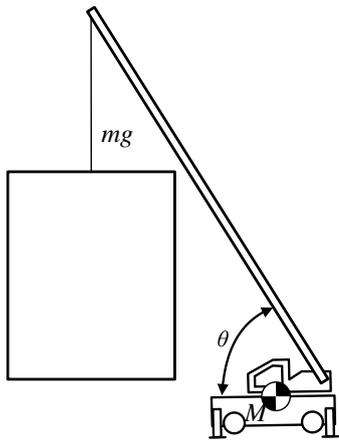
### 3. 5 推定される転倒原因

当該移動式クレーンの作業記録データを解析した結果、実荷重が増加しているのは、当該移動式クレーン本体が後方に傾いたと考えたと説明がつく。そこで、当該移動式クレーンが後方に傾いた原因として、アウトリガーの疲労破壊、つり荷であるシャッターへの風荷重、クレーンが設置された地盤の沈下について検討した。当該移動式クレーンの左後方アウトリガーボックスの破損部を調査した結果、疲労き裂が発生していた痕跡は確認されず、災害時に過大荷重により破損した可能性が高い。また、労働基準監督署の現場調査によると、地盤沈下の跡は確認されていないことや当該移動式クレーンが傾斜し始めてから転倒にいたるまでに 40 秒程度かかっていることから、当該移動式クレーンが転倒した原因として、地盤の影響による可能性は低い。次に、風荷重の影響について検討したところ、当該移動式クレーン前方側から向かい風が吹いた場合、シャッターが風向きに対し垂直であれば、6 m/s 程度の風速でクレーンは転倒する可能性がある。以上のことから、シャッターが当該移動式クレーン前方側からの向かい風にあおられて、当該移動式クレーンの前方アウトリガーが浮き、当該移動式クレーンが転倒した可能性が高いと推察される。

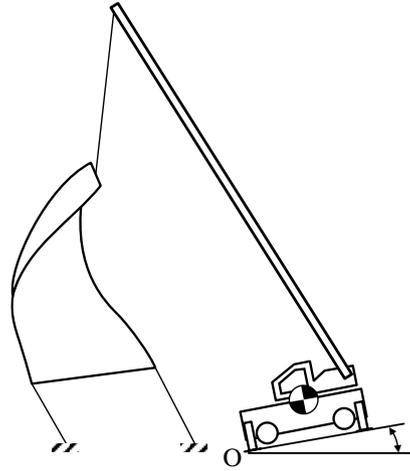
ここで、シャッターは図 2(a)に示したように、クレーンに対してほぼ平行につり上げられていた。また、災害発生直後の写真等からの判断となるが、シャッターは「ねじれ」を許容する構造のように見られた。加えて、シャッター下部は回り止めのため、ロープで固定されていたとのことであるが、シャッター上部は自由に回転するフックであったことから、風向によってシャッターが回転する可能性がある。

以上のことから、当該移動式クレーンは次のような状況で転倒したと推定される。

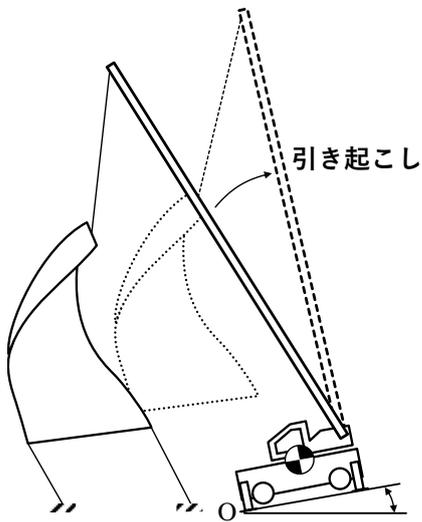
- ① 図 9(a)に示すように、クレーンオペレータはシャッターをつり上げたところで、当該移動式クレーンのエンジンを停止し、運転席から離れて休憩した。
- ② 図 9(b)に示すように、クレーンオペレータは休憩後にエンジンを始動させたところ、当該移動式クレーン右前方側からの風によって、シャッターがあおられ、前方側のアウトリガーが浮いた。
- ③ 図 9(c)に示すように、クレーンオペレータはブームを引き起こし、転倒を防止しようとした。
- ④ 図 9(d)に示すように、風荷重により転倒荷重を超えてしまった当該移動式クレーンは重量があり、慣性力が大きいため、当該移動式クレーンの傾きは大きくなっていった。その後、後方アウトリガー 2 本に当該移動式クレーンの全荷重が作用し、後方アウトリガーが曲がった。
- ⑤ 図 9(e)に示すように、右前方側からの風荷重のために、左後方アウトリガーに過大な荷重が作用し、アウトリガーボックスが破損するとともに、左側に 90° 回転するように転倒した。



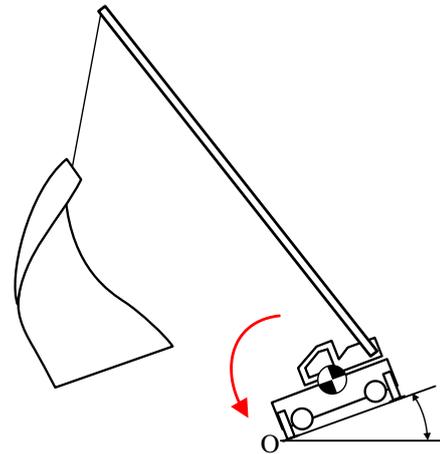
(a) エンジン停止の状態



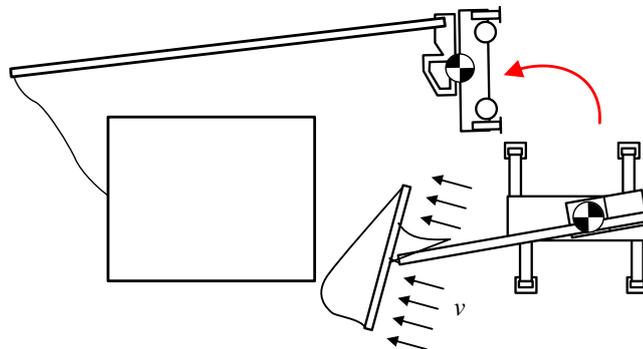
(b) エンジン始動，風によるあおられ



(c) ブームの引き起こし



(d) 風荷重による傾きの増加



(e) 当該移動式クレーンの転倒

図9 推定される当該移動式クレーンの転倒機序

#### 4. 再発防止対策

- 1) 本災害では、当該移動式クレーンの左前方アウトリガーはほとんど張り出されていなかったが、クレーン等安全規則第 70 条の 5 にあるように、移動式クレーンのアウトリガーは最大限張り出すこと。
- 2) 本災害では、当該クレーンオペレータはシャッターをつり上げたままエンジンを停止し、運転位置から離れているが、クレーン等安全規則第 75 条の 2 にあるように、クレーンオペレータは荷をつったまま運転位置を離れないこと。
- 3) クレーン等安全規則第 66 条の 2 にあるように、事業者は移動式クレーンの転倒等による労働者の危険を防止するために適切な作業方法等を決定し、関係労働者に周知すること。本災害を受けた具体例としては、アウトリガーは最大張り出しで使用することを徹底すること、荷をつったまま運転席を離れないことを徹底することを朝礼等で周知すること。
- 4) (強風時の作業停止) 解体作業中のコンクリート片飛散防止を目的としてシャッターが使用されていたが、シャッターが風を受けることで、クレーンのブーム先端には横荷重が発生し、これによりクレーンが転倒する恐れがある。クレーン等安全規則第 31 条の 2 にあるように、強風のため、クレーンに係る作業の実施について危険が予想されるときは、当該作業を中止すること。