

建設労働災害におけるフェールセーフ的考察

日本技術開発株式会社 前川 行 正
BY YUKIMASA MAEKAWA

建設産業の労働災害防止への努力は、万全なものと言い難い。他産業において本質安全を追求する姿勢に比べると、まだ手ぬるいものが感じられる。安全対策には3つのE (Engineering, Education, Enforcement) が強調されてきた。この考え方は労働災害が機械的・物理的に適切な環境、知識・技能の欠如、管理的不適正の相互に影響して発生するということが基礎となっている。一方、災害には機械の不都合、人間のミス・エラー (ヒューマンファクター) が介在しているが、安全管理はそれらを防止することを第一義として教育・訓練を重点に、災害防止対策としてきた。しかし、高度に技術の発達してきた現在においては、「機械は故障する・人間はミスをする」という事実を認めた上で、故障やミスがあっても、人間 (労働者) の安全は確保するというフェールセーフの考え方を取り入れ、本質安全を確立する必要がある。

本稿では、人間の安全確保を中心とした考え方をいわゆるフェールセーフについて論じるのではなく、建設産業においてフェールセーフに近い考え方で、具体例について適用する考え方を1つの提案として示し、フェールセーフ的考察という形でまとめた。

[キーワード] 建設労働災害、本質安全、フェールセーフ

1 はじめに

災害統計の結果によれば、建設産業の災害件数による成績は全産業を比較して最も悪い成績と指摘されてきている。建設産業の特殊性・特異性から、その結果が当然のように解釈され、多少とも関係者の努力には、諦めの気持ちのまままで対処しようとしているのではないかと感じられるのは、筆者だけではないと思われる。

建設をより安全な産業へと変えていく努力は常に続けなければならないと考える。

安全を考えると、電気機器の防護構造から生まれた言葉⁽¹⁾で、危険な状態そのものが生じないようにしておくという意味の本質安全という言葉が建設産業でも用いられることがある。フェールセーフは本質安全をクリアするための必要

かつ十分な条件であり、本質安全をいいかえればフェールセーフと同義語といえる。

フェールセーフとは装置や機械、システムまたはこれを構成する要素が故障しても、これらが原因で労働災害が発生することのないように、あらかじめ定められた安全側の状態に固定して、故障の影響を限定することにより、作業者の安全を確保する仕組みをいう。

2 設備や機械についてのフェールセーフ

設備や機械に関して、フェールセーフを確保する条件として次の3点がある。①機械や装置などは故障し、また、機械や装置を操作する人間は誤りを犯すということを認めた上で、仮に

これらの故障や誤りを犯すことが発生しても、作業者の安全が確保される構造を、機械や装置等の設計・製造・改造等の段階で構築しておく必要があり、②さらには、そのことを確認する安全確認システムが設置されねばならない。③また、安全確認システムが故障しても、必ず安全側（労働災害を発生させないように機械を停止させる側）となるようにして、作業者の安全確保、労働災害防止を図らねばならない。

工場における設備や機械についてフェールセーフを考えるとときは以上のような条件で考えられている。

次に、自動機械を使用するときは2つの考え方があり、その1つは、自動機械の作動時に危険範囲のなかに人間が立ち込んだ場合、機械が停止するようにする。この場合、機械の安全装置（人間の侵入を検知するセンサーとか、それを機械に伝え、停止の命令を出す装置など）がもし、故障していたとしたら、人間の侵入を機械に伝えることが出来ず、自動機械は動き続け、侵入した人間を危険にさらす、あるいは、侵入した人間に危害を与えることとなる。その2は自動機械の作動時に危険範囲のなかに人間がいないことを確認すると、機械が動き出すようにしてある。この場合、たとえ、機械の安全装置が故障していても、機械に動く指令を出すことができないのであるから、人間を危険から守る事が出来る。後者の方が、フェールセーフの趣旨からは、適切なのである。

3 土木工事へのフェールセーフの適用

土木工事のように屋外などを対象にした場合フェールセーフを、全てについて適用することは、物理的にも困難である場合が多い。その中でフェールセーフ対策の可能な事例を挙げる。

(1) 通常のクレーン作業の場合

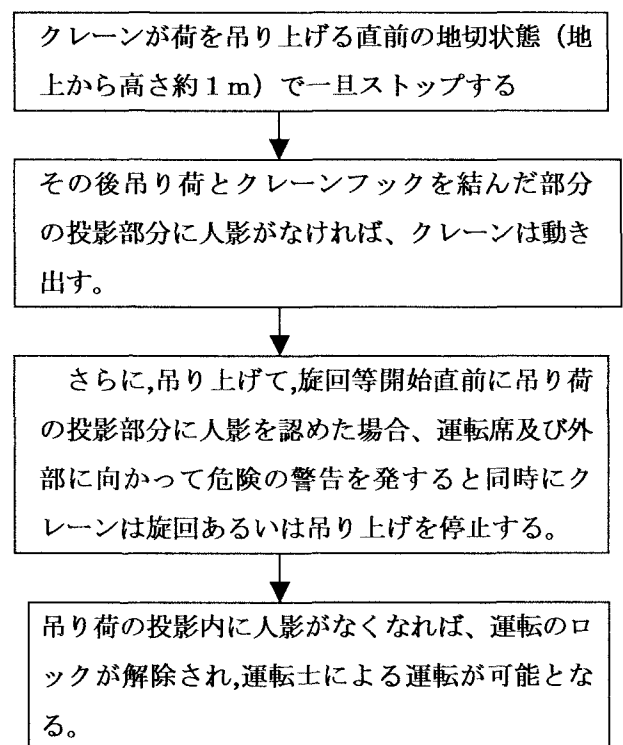
クレーンが荷を吊っているときは、その下に人間が立ち入ることを労働安全衛生法において

も、禁止されているが（安全衛生法クレーン等安全規則第29条）、現実には、吊った荷の下に入って、その時、吊り具から荷が外れて落下したり、吊っているワイヤーが切断して荷が落下したために、被災した労働者数は多数ある。完全に下から支えられたもの以外の物体は必ず落下する可能性があると考えておかねばならないのである。

そこで、クレーンが荷を吊っている状態においてはセーフとする為には、人間がその下に入ることを防止せねばならないが、単に工場における自動機械のように、人間が危険領域（クレーンの荷の下）にいればクレーンが停止するというのでは、停止した瞬間に吊り荷が落下してきた場合はセーフにならない。

そのためには、フェールセーフに基づいたクレーンの作業は図—1のようなフローに従って実施しなければならないであろう。

(図—1 フェールセーフに基づいたクレーン作業のフロー図)



このようなフェールセーフ機能を搭載したクレーンであっても、その設備が故障したり、故意に外されたりすれば、フェールセーフ効果はないのである。それを防止するためには、クレーンのエンジンが停止するもしくは、稼働しないようなシステムとしておくのである。

(2) 吊り荷の管理及びクレーン作業足場の強度

移動式クレーン等の転倒事故の原因の多くは吊り荷の制限荷重をこえるか（作用モーメントの限度を越える荷重であるか）、クレーン作業足場の強度不足である。

最近の移動式クレーンは、荷重がオーバーすることによる転倒を防ぐ為、吊り荷によるモーメントがオーバーすれば、荷を吊り上げる前にクレーンは停止するようになっている装置（モーメントリミッター）を装備しているのが普通である。

作業足場についても、クレーンのなかにはアウトリガーの反力が運転席に表示されるようになっているものもある。ただ、このようなクレーンであっても、足場の強度が弱い場合には、表示された反力が適切であるかどうかを運転手が判断せねばならないので、運転手にその判断能力がなければ、足場の強度が不足によるクレーンの転倒を防止することはできない。その為には、アウトリガーにかかるべき反力を事前に運転席にて入力しておき、その値以下の地盤反力の場合は、荷を吊る作業を開始できないようにしておけば転倒は防げるのである。

クレーンの足場の強度（地盤の強度）が十分であって、吊り荷によるモーメントが規定内であれば、クレーンが転倒することはない。

このように、モーメントリミッターや地盤強度判定装置を装備しているような、いわば、フェールセーフとしての機能を移動式クレーンにもたせてもそれを取り扱う人間（この場合オペレーター）が、そのスイッチを入れ忘れたり、

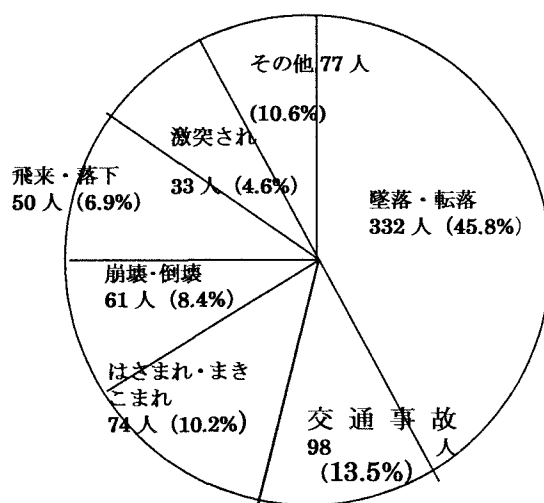
わざと入れなかったりしたら、また、装置が故障していれば、フェールセーフの意味はない。

以上のような場合に真にフェールセーフとするには、安全装置が正常にはたらかなければ、即ち、装置にスイッチが入っており、また装置に故障がない場合でなければ、いかに安全装置が正常でない場合はこの移動式クレーンのエンジンが動きはじめないとしておく必要がある。

4 墜落災害防止のためのフェールセーフ

建設労働者の事故でもっとも死亡災害の多いものは、墜落災害で、死亡災害の平成10年の発生状況⁽²⁾から、45.8%となっている。

(図一2；平成10年度建設業の労働災害による死亡者)



墜落災害防止のためのフェールセーフの事例を考えてみる。

足場の昇降口の入り口に遮断機を設けておき、安全帯を着用していない人がくれば、遮断機がおりて（このゲートを安全帯着用確認ゲートとする）、その人は昇降できない。ただ、正しいルートであるそのゲートをだれもが通ればであつ

て、通らないで例えば足場をよじ登るような作業員がおれば、チェック出来ない。また、安全帯を着用して、足場に上がった人が、その安全帯を使用しなくては墜落防止の意味がない。安全帯そのものに、高さを確認できるセンサーを取り付けておき、2M以上になると使用していないと警告音を発するようにしておくことはできるが、やはり、安全帯を使用するのは、作業員自身であるから、フェールセーフとはならない。墜落時の衝突エネルギーを減少させるためのセイフティジャケットを着用して、墜落時に直ちに重大災害を蒙るかわりに、傷害の程度を軽くしようとする方法は、安全帯の使用を励行させるという方法に比べれば、実施可能性が現実的である。ゲートにセイフティジャケットを着用しないと昇降できなくすることが可能であるが、安全帯着用チェックと同様に、作業員がルール違反して、そのゲートを通らなければ意味がなくなり、フェールセーフとはならない。訓練や教育がなくても安全を確保することは、このように、土木や建築の分野では、限界があるかもしれない。安全帯の着用・セイフティジャケットの着用のゲートチェック、安全帯を使用しない場合の警告音の装置などは、ルールを厳守するよう指導する教育と合わせて行なうのは、フェールセーフに準ずる安全対策といえると思われる。

重機にはさまれたり、まきこまれたり、接触事故などの重機関連の事故で、その件数は建設労働災害の約30%となっている。重機事故防止のためのフェールセーフは、重機の作業半径をセンサー等でガードしておき、作業半径内に人間が立ち入ると、警告音を発しかつ、重機は停止するようにしておく。ただし、この安全装置のスイッチを重機のオペレーターが切ったり、装置が故障しておれば、効果を発揮しないわけであるから、重機の起動の際、安全装置が正常でなければ、エンジンは動かない様にし

ておく必要がある。

もう一つの重大災害である、飛来・落下事故防止対策として、安全装置を考えた場合、作業している場所の下方に他の作業員が立ち入れば、警告を発するというようなものが考えられるが、フェールセーフとは程遠いものである。物を落とさない、またものが落ちないようにしておくのが、最大の対策で、物理的に飛来・落下物が下部の作業員や人間に当たらないように、建築工事において、設ける「朝顔」を強制的に万全なものとするのが、飛来・落下事故防止対策として適切と思われる。

以上、重大災害要因といわれるものについての安全対策をフェールセーフに準ずるものとして、例にあげてみたが、これらは、いずれも、生産効率を著しく低下させるものであり、かつ、コストがかかるものである。建設事業は、請負であることが多く、顧客からの求められる工期の関係などから、効率優先とならざるを得ない場合が多く、このようなフェールセーフに準ずるような安全対策すら実施困難な状況である。さらに、現在の風潮であるコスト縮減において、明らかに、上記のような対策にコストを計上することを渋ると思われる。

その結果、作業員の教育・訓練等を強化して、ヒューマンファクターによる、災害の発生を防止するという方向へ進まざるを得ないのかと思わざるを得ないのは哀しい。

5 フェールセーフ的安全対策

さらに論をすすめていき、著者は事故を最小限（すくなくとも死亡事故を発生させない）にとどめるには、どうすればよいかを考えるのを広義のフェールセーフとし、それをフェールセーフ的対策と名づけることを提案し、著名な大事故（建設産業以外の事故を含む）を例にしてどうすれば、大事故にならずにすんだであろうかを考察していく。

1) 飛行機事故にみる安全への考え方

①日航ジャンボ機墜落事故（昭和60年8月12日：死亡520人）

ボーイング747は月に人間を送り込んだアポロ計画のために1960年代に開発された信頼性理論を全面的に導入して設計され、飛行機の事故発生率を10の6乗分の1（百万分の1）以下に抑えるというものである。飛行機を操作する油圧システムを4系統にし、胴体の両脇に2系統ずつ分けて配置してあるが、当該飛行機では尾翼部分に油圧が4系統とも集中していて、ウィークポイントになっていた。

当ボーイング747は大阪でしりもち事故を起こし、圧力隔壁の修理が杜撰で、接合部の継ぎ板が不完全であったばかりか、ひびわれが金属疲労で進行していたという。

その結果、圧力隔壁が破けて、尾翼部分の油圧システムに支障が生じ、飛行機操縦が不能となったのであろうと考えられる。人間の作ったものにキズやひび割れが生じるのは避けられない。

キズやひび割れが発生しても、大きな破壊を引き起こす以前に手当てをしておけば、圧力隔壁は破けなかったであろうし、また、仮に、圧力隔壁が破けても、油圧システムを確保するような構造にしておけば、与圧が抜けただけで、墜落には至らなかったかもしれない。⁽³⁾

この事故に対するフェールセーフ的対策とは、キズやひび割れが発生しても大きな破壊を引き起こす以前に点検等で、事前に処置しておくことであり、飛行機の推進に操縦にかかわる部分は1箇所に集中することなく、分散して配置すべきであることである。

②日航機のニアミス（平成13年1月31日：42人重軽傷）

羽田から離陸した飛行機が、成田へ降りようとした飛行機と高度差僅か60M（最も近づいた時には10Mであったという）にニアミスし、衝突を避けようと飛行機を操作して、急降下し

たために多くの重軽傷者がでた。もし、2機の飛行機が空中で接触しておれば、両機に乗っていた670人以上の生命はどうなっていたか。

今回はそのような、大惨事を避けられただけでも不幸中の幸いとせねばならないのだろう。

このようなニアミスを避ける為に、飛行機には衝突防止警報装置（TCAS）が取り付けられており、自機と周辺の航空機との最も接近する約40秒前に注意喚起し、約25秒前に警報が出るようになっていて、さらに、上昇下降の回避操作指示が出るタイプの装置を装備することが、民間航空機には義務づけられている。⁽⁴⁾

ただ、この度ニアミス事故の発生した地点は日本周辺でも有数の混雑航空路で、ここを通過する際には、飛行機の誘導にあたる管制官は常に強度に緊張して業務に当たらねばならないようである。今回も管制の指示が適切であったか、パイロットの操作・判断に誤りはなかったか、また、衝突防止警報装置（TCAS）が正常に作動していなかったのではなかったか。これらを追求めることは、事故の直接原因を明確にし、対策を取る為に必要な事であろう。この事故の場合は単純に管制官の指示ミスであったとしてほぼ結論づけられている。そのため、管制官の教育・訓練・適性などが今後議論となるであろうが、どうもそれだけで片付けられてしまいそうな気がしてならない。

しかし、最も重要なことは、広い大空のなかで、ニアミスが発生するかもしれないような、航行ルートが飛行機が通過せねばならない事ではないかと思う。この地点に通過飛行機が集中する理由は、政治的な問題や管制のための地域的な問題があるが、それらの問題をクリアして、航行ルートを検討することが、まず第1の安全対策ではないか。

2) 鉄道事故にみるフェールセーフ的な安全対策

①地下鉄日比谷線脱線・衝突事故（平成12年

3月8日：死亡5人、負傷者多数)

日比谷線の地下鉄が脱線し、その電車に対抗車両が突っ込み多数の死傷者が発生した。

1の原因は確かに、脱線である。しかし、死者の発生を防止する方策はあったのではないか。脱線だけで、死者がでるとするのは稀である。

(もつとも、死者がでる可能性もあるし、過去にもないわけではない) 今回の事故の場合、2の原因として、対抗車両が脱線した電車に突っ込んできたことである。⁽⁶⁾ これに対する、世の中の議論は「脱線に全ての責任を押し付けている」気がする。どの報道をみても、2の原因に対する対策やコメントを著者はみたことがない。脱線しなければ、事故はないのは確かである。でも、「脱線しても、死者がでるほどの事故にはならない」と考える、いわば、「フェールセーフ」的な考えである。対抗車線との間隔が70cmなどという狭いのでは、脱線すれば、ぶつかるのは当然である。

レールの上を走る電車は、車輪がレールから外れて、脱線する可能性があると考えて安全対策をするのが、フェールセーフ的対策といえる。

脱線することを前提としているのであるから、電車が仮に脱線しても対抗電車の運行に支障のないクリアランス(=例えば3.0m)を確保しなければならないと考えねばならないであろう、または、そのクリアランスが確保できなければ単線とする。しかし、単線とした場合は正面衝突の危険が大で、運転管理規定の厳格化当然運行に従事する人々への教育・訓練は複線以上の必要性があり、これはまた、フェールセーフの考え方に反するものとなる。平面的にクリアランスが確保できないならば、上下線を2階構造として、複線とする。単線とした場合の対策は、車両前面に車両が正面衝突しても人身事故とならないようなショックアブソーバーなどのフェールセーフ的な設備もつけねばならないであろう。そうすると、乗客に常に不安を与え

ることとなるであろうし、運転の効率は著しく低下するので、経営にも支障が出てくる。

フェールセーフ的考えとは、路線計画の段階で、電車が脱線しても衝突防止を考えた方策を考える姿勢を要求したい。即ち、クリアランスを十分とるか、クリアランスがとれないならば、2階構造とするかである。

②京福電鉄越前本線での正面衝突事故、(平成12年12月17日：死亡1名、負傷者多数) 福井県で起きた、停車すべき駅にブレーキ故障のため、止まれなかった電車が単線上で正面衝突した。この原因は電車機体も古く、ブレーキが故障していたため暴走して、対向車と正面衝突したものである。⁽⁶⁾ こういう事故の場合原因を1つにしぼり、その徹底的な追求をするのが、正しい対策であるから、この場合ブレーキ故障の原因を追求する事は理に叶っている。その安全対策として、ブレーキの点検によるブレーキ故障の発生しない対策は当然である。さらに、たとえ1のブレーキが故障しても、次のブレーキが働くようセコンドバリア的な設備を準備しておくという対策も大切である。

しかし、現場の状況を観察してみると、暴走した電車は、駅の転轍機を通り越して、進入してくる電車の車線へ、どうして、入っていったのであろうか。もし、転轍機が進入車線にはいることが出来なかったら、暴走車のほうは脱線はしたかもしれないが、少なくとも、正面衝突は発生していないだろうし、死亡事故とはならなかったのではなかろうか。フェールセーフ的な考え方は、「ブレーキはどんなに完全にしても、故障する可能性がある」であるから、電車がもし誤って、暴走しても、人間の安全を守る為には、他の車両の前をさえぎる事の無いよう配慮することである、すなわち転轍機が、進入車両にのみ通行を許す構造にしておくべきなのである。

いいかえれば、電車の運行計画時において、

走っている電車のブレーキは故障する可能性があるという前提に立って設計せねばならないと考える。

③駅のホームから転落して、進入してきた電車にはねられ、死亡事故となる。この事故防止対策は、乗客がホームから落ちないようにすることである、例えば、東京の営団地下南北線のように電車がホームに入場・停車して、車両のドアとホームのドアが同じに開く様にしておけば、乗客はホームから落ちることはない。しかし、このことを全ての駅に適用するには、車両の種類が様々（メーカーの違い、製作年月日の差異などがその要因であろうと思う）であるため、莫大な費用が発生するという以前に現状を直ちに改善することは、困難である。また、ホームから、人が転落すれば、それを見た人が非常ボタンを押して、進入してくる全電車を直ちに停止させる、という対策も実現性は高い方法である。しかし、この場合、緊急停止が間に合うかという問題、また、緊急停止出来ても関係のない交通機関にまで影響を与えるなど交通の運行に与える影響は大きいという問題が残る。

線路に乗客が落ちて、その乗客の生命だけは、確保できるとするのが、フェールセーフ的な対策といえる。線路に落ちた乗客はホームと車両に挟まれて、被災するのが一般である。線路の下に人間が十分入れるくらいのスペースを作ってやること、また、ホームと線路との空間を人間が十分入れる程度の広さを確保するのである。それらを緊急待避所として電車が頭上を通過しても、電車が近くを通過しても、恐怖感の出来る限り低減できるよう考慮する。

3) 橋梁工事における事故例を基にしたフェールセーフ的考え方

橋桁の施工中に、その橋桁が崩落して、作業中の作業員が死傷したという事故は数多くある。

これらの橋桁崩落の原因は、施工法の無理やミス、僅かな架設計画のミス、仮設設計のミス

などが考えられる。

フェールセーフ的に考えるならば、構築途上の構造物は落下する（崩落する）可能性があるという考え方に基づいて、計画をする。即ち、架設工事の段取りをする前に、作業員の墜落防止の安全対策設備を準備し、その後架設にかかるという考え方にすべきである。

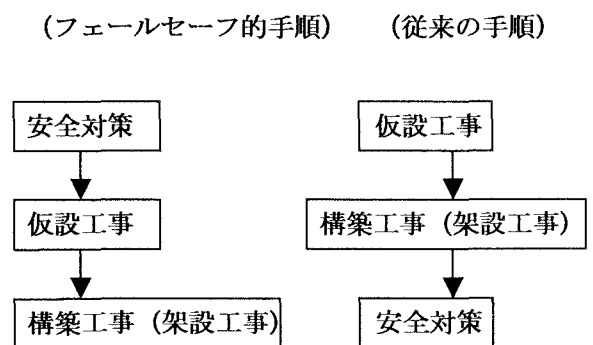
現状の架設計画においては、如何に架設工事をするかを検討し、その後、安全対策を考えるのが普通である。しかも、その費用算出にあたっては、直接工事費（架設工事費）の利率にて積算すると思われる。

そのような考え方が優先するから、作業員も落下（崩落）する可能性のある橋桁に命綱をとったりして、そのような、危険なものに命を預ける事になるのである。その結果重大な人身災害の発生と成っているのではないかと考える。

安全確保のための費用を算出した後に工事費を算出する。すなわち、「安全対策ができなければ、工事（架設）は出来ない」とする。例えば、土留ができてなければ、掘削は出来ないわけであるから、それと同じ考えで計画するのである。

安全対策を先に考えるという手順の計画にすれば、発注者も設計者も具体的な安全対策を考えにいれずに、受注者へ工事を委ねることが出来なくなる。

その考え方を、下のフローに示す。



(図一3 工事の計画フロー図)

6 まとめ

本稿において、著者が主張したいフェールセーフ的とは、以下のような考え方である。

①人間に危害が加わるおそれのあるところへの立ち入りを防止することであるが、さらに機械装置のフェールセーフの考え方を取り入れて、人間の立ち入りがあれば、危害を加える要因のものは、直ちに稼働をストップすること。

②人間が誤って、危険領域に立ち入った場合、危害を加える要因をストップさせるのが、フェールの考え方であるが、建設工事などで、それが叶わぬ可能性がある場合は、その危険区域において、人間の生命を救われる余地を考慮しておくこと。

③事故が絶対に起こらないようにすることは当然大切なことであるが、不幸にして、事故が発生しても、死亡事故など人身を巻き込んだ災害は絶対にさけるようにすること。

④危険となる要素は万難を排して、事前に検討しておく必要がある。

⑤工事の計画時には、安全対策を最初に考え、工事の段取り、施工法は安全対策の手順・方法の従って実施する。

【参考文献】

- (1) (社)日本労働安全衛生コンサルタント会編；
これからの安全技術、平成12年1月、
中央労働災害防止会発行
- (2) 労働省（現厚生労働省）労働基準局編；
安全の指標、平成12年度、中央労働災害防止協会発行
- (3) 柳田邦男；事故調査、新潮社、平成7年
- (4)、(5)、(6) 新聞報道；例えば、朝日新聞、
読売新聞など

Fail-safe-wise Examination on Labor Accidents in Construction Industry

BY JAPAN ENGINEERING CONSULTANTS CO., LMD. YUKIMASA MAEKAWA

Labor accidents are brought about either by machine malfunctioning or by human mistakes/errors (human factors). In the current safety management, however, accident prevention measures have laid emphasis on education and training, primarily aiming at their prevention. Notwithstanding, in the present situation where technology has been highly advanced, it is imperative to firmly establish an “absolute safety” by adopting a concept of “fail-safe” in which safety of human being (laborer) shall be secured even if machine troubles or human mistakes occur, based on the acknowledgement of the fact that “machine may fall in troubles; man may make mistakes”.

In this writing, fail-safe-wise examination is made centering around the concept of securing safety of human being, not by discussing “fail-safe” itself, but by indicating, as a proposal, an application of the concept similar to “fail-safe” to a concrete case in the construction industry.