

安全性の考え方、構造設計の考え方

東京工芸大学
田村幸雄

東北地方太平洋沖地震 2011年3月11日

- マグニチュード(規模) 9.0 M_w
- 地動の最大水平加速度 2,933 cm/s^2
- 死者・行方不明 19,100 人
- 負傷者 6,020 人
- 壊失建物 129,200 棟
- 被害額推定(直接被害) 16~25 兆円

<死者等の大半は津波による>

20世紀の予言(1901年1月2日、3日:報知新聞)

(タ)暴風を防ぐ

気象上の観測術進歩をして天災來たらんとすることは1ヶ月以前に予測するを得べく、天災中の最も恐れる暴風起らんとすれば、大砲を空中に放ち変じて雨となるを得るべし。また地震の動搖は免れざるも、家屋道路の建築は能く其の害を免るるに適當なるべし

地震のちから

- 地震力=地面の動きの加速度によって生じる(慣性)力
- 重さ(=重力加速度によって生じる力)と同じようなもの
 - 軽い物ほど有利(地震力小)
 - 日本の高層建築物:
軽く、柔らかく作られる

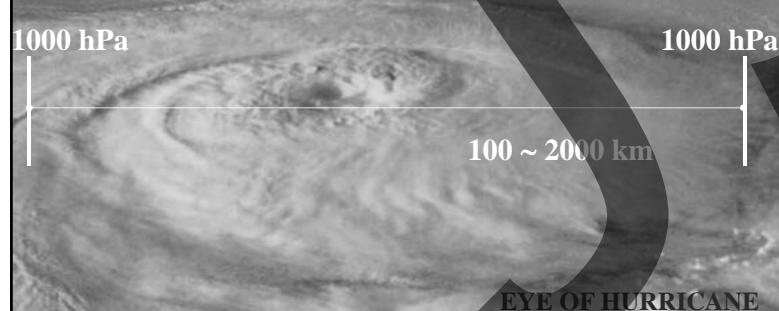
地震による横からの力

- 重力の加速度 980 cm/s^2 (1G)
- 兵庫県南部地震 817 cm/s^2
重力の約0.8倍
- 新潟県中越地震 $1,308 \text{ cm/s}^2$
重力の約1.3倍
- 東北地方太平洋沖地震 $2,933 \text{ cm/s}^2$
重力の約3.0倍

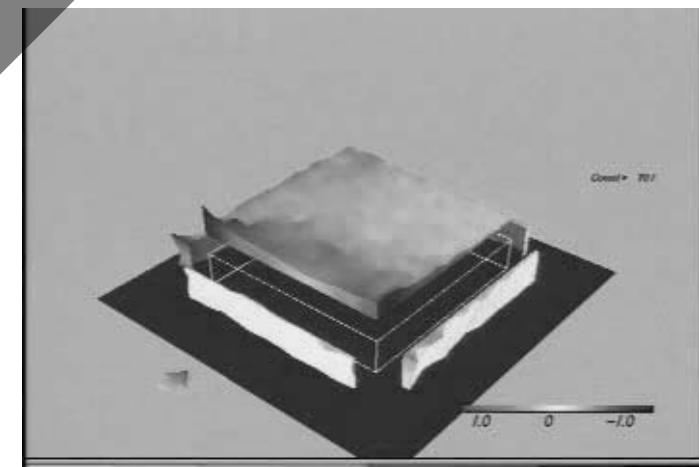
強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帯低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダストデビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

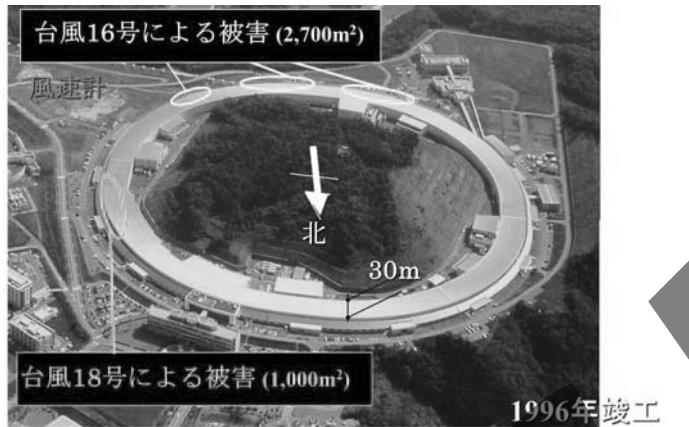
熱帯性低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)



屋根の変動風圧(風洞実験) 清水建設技研



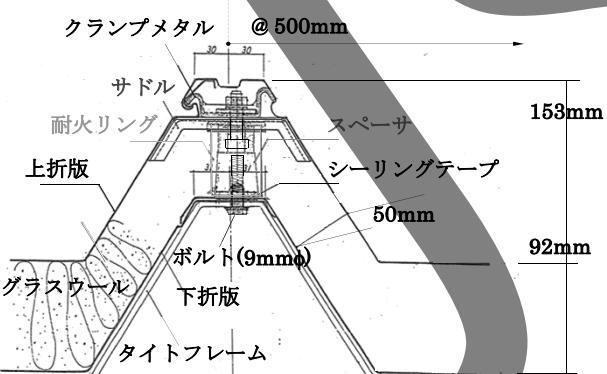
2004年台風16号(8月30日)と台風18号(9月7日)
による2重折版屋根の被害
理化学研究所・Spring-8



2004年台風16号(8月30日)による
2重折版屋根の被害
理化学研究所・Spring-8

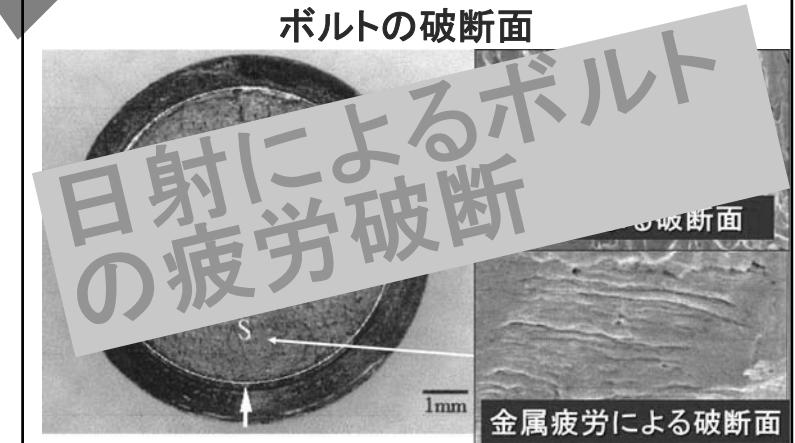


理化学研究所・Spring-8 の2重折版屋根



2004年台風16号(8月30日)と台風18号(9月7日)
による2重折版屋根の被害
理化学研究所・Spring-8

ボルトの破断面



被害調査委員会報告書 理化学研究所HP(2005)

- (1)蓄積リング棟屋根に被害を及ぼした台風16号および18号による強風は、近隣測候所等の風速観測値から推定すると、設計上想定されていた風速値を上回るものではなかった。
- (2)屋根端部付近のISボルトの多くは、台風で飛散したISボルトの破断面の鋸の観察や今回被害のなかつ部分のISボルトの調査結果から、台風16号及び18号で屋根が飛散する以前から、ISボルトの水上側及び水下側端部にひび(亀裂)が入る等疲労による損傷を受けていた。
- (3)疲労損傷のため、ISボルトが所定の耐力を失った状態で、台風16号および台風18号による強風を受け、屋根上折板が屋根の軒先付近からめくれる被害が発生した。

被害調査委員会報告書 理化学研究所HP(2005)

- (4)ISボルトの疲労損傷の原因は、2重構造になっている屋根の上折板が日射による温度変化によって日常的に熱膨張・収縮し、屋根上折板を支持しているISボルトの先端を繰り返し大きく変形させたことによるものである。
- (5)日射による上折板の伸縮がISボルトに大きな繰り返し荷重としてかかった原因是、本来荷重を回避させるように工夫されていたスライド機構が所定の性能を発揮しなかつたことによるものである。
- (6)今回の屋根被害は、スライド機構の性能を確認しないまま、ISボルトに作用する繰り返し荷重の影響を無視して、屋根を設計・施工したことによって生じたものである。

2004年台風6号(6月21日), 台風10号(7月31日),

および台風23号(10月20日)

香川県大川体育館

1991年竣工



2004年台風6号(6月21日), 台風10号(7月31日),

および台風23号(10月20日)

香川県大川体育館

1991年竣工



台風6号 南西面(風下)

(四国新聞HP)

香川県立大川体育館

事故調査報告書(抜粋) (香川県教育委員会HP, 2004年8月)

■ (社)公共建築協会

「香川県立大川体育館台風被害調査検討委員会」

- ①屋根ふき材を下地のALC(軽量気泡コンクリート)パネルに固定していた緊結部材(ALCパネル用二股釘)について、熱膨張や風圧力の繰り返しの力により、経年による耐力の低下を招いていたものが、今回の台風の風により損傷に至ったと推測される。
- ②設計当時に想定し得なかった大規模な屋根特有の風荷重効果が、今回の被害に影響していた可能性がある。
- ③以上のことから、当時の建築基準法や業界の標準から判断して、屋根工事の設計や採用した工法が原因で建築物に瑕疵があったとまでは言えない。

香川県立大川体育館

事故調査報告書(抜粋) (香川県教育委員会HP, 2004年8月)

■ (社)公共建築協会

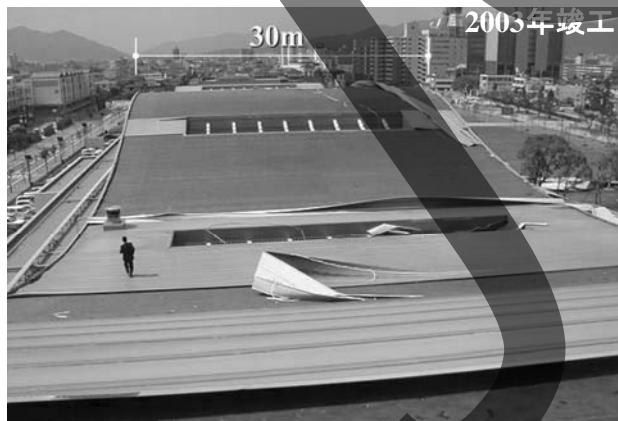
「香川県立大川体育館台風被害調査検討委員会」

復旧事業 概算見積額 約6千2百万円

対応(案)

- ①調査検討委員会の報告に基づき、災害復旧事業(国庫補助)として早期復旧ができるよう関係機関と調整

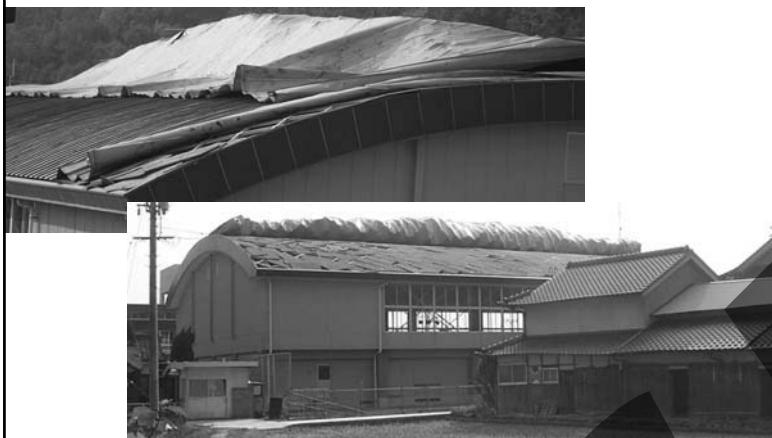
2004年9月7日台風18号(Songda) 山口情報芸術センター



2004年9月7日台風18号(Songda) 山口情報芸術センター



2004年10月20日台風23号(Tokage)
広島県神辺町御野小体育館



強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帶低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダストデビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

前線性低気圧(爆弾低気圧)
2012年4月3日～5日

4月2日21時1006hPa～4月3日21時964hPa:
24時間で42hPa低下



前線性低気圧(爆弾低気圧)

2012年4月3日～5日

死者5人



強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帯低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダストデビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

サンダーストーム(雷嵐)

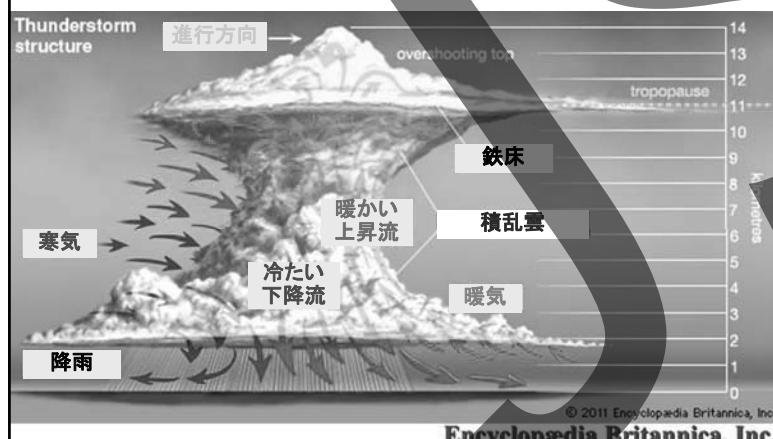
- 厚い雲 / 塔状の積乱雲
- 雷光 & 雷鳴
- 豪雨
- 霙
- 強い突風



Courtesy of Steven Love/Fotolia

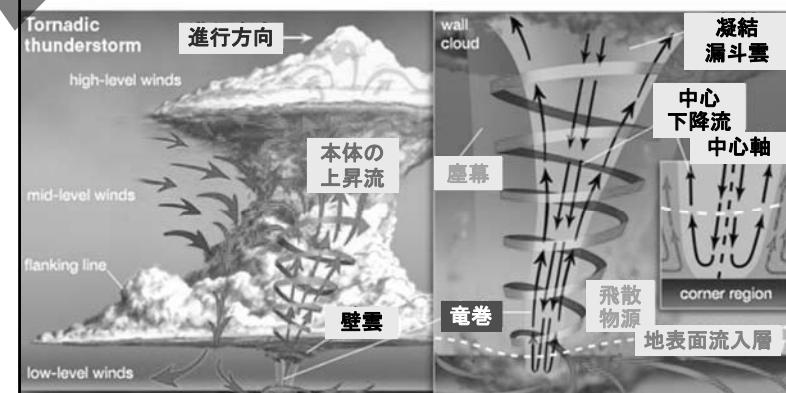
- 竜巻
- ウォータスパウト
- ダウンバースト / マイクロバースト
- ガストフロント
- 局地的突風
- 局地的対流性強風

サンダーストームの構造



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.
Encyclopædia Britannica, Inc.

たつ巻(Tornado)



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.
Encyclopædia Britannica, Inc.

たつ巻(Tornado)



Tornado Video Classics, Tornado Project, Vermont USA

JR羽越本線列車転覆事故 2005年12月25日



延岡のたつ巻(2006年9月17日)



米国Joplinの竜巻 Missouri, 2011年5月22日 EF4, 85m/s-88m/s



米国Joplinの竜巻
Missouri, 2011年5月22日

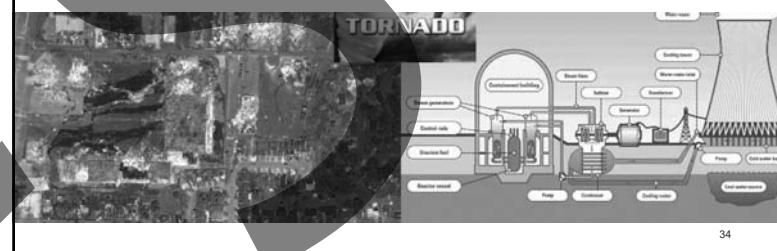


Prevatt, U of Florida (2011)

原子力発電所の竜巒による緊急停止
米国バージニア州サリー原子力発電所

2011年4月16日

- 原子炉2基の緊急停止
- 送電設備の被害で外部電力の遮断
- 補助電源による電力供給開始



原子力発電所の竜巒による緊急停止
米国アラバマ州プランズフェリー原子力発電所
2011年4月28日

- 原子炉3基の緊急停止
- 送電設備の被害で外部電力の遮断
- 補助電源による電力供給開始

福島第一原発と同じGE製マーク沸騰水型原子炉

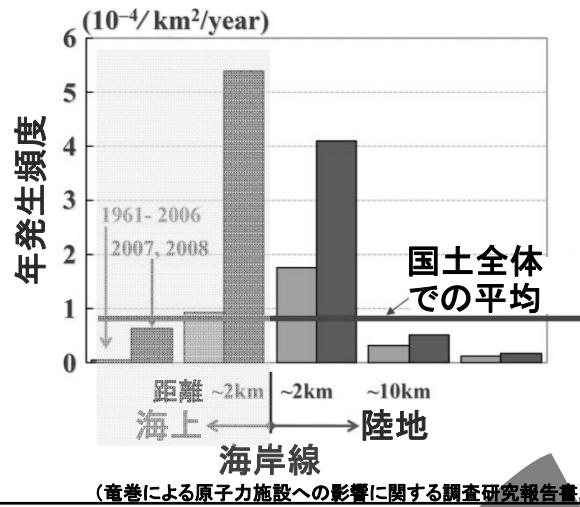


原子力発電所と日本の竜巒発生分布



(竜巒による原子力施設への影響に関する調査研究報告書, 田村ほか)

日本の竜巻発生頻度と海岸線からの距離



北関東での竜巒
2012年5月6日



つくば市の2階建て木造住宅の転倒



転倒限界風速

2階建て転倒建物(寄棟屋根)

基礎含む建物重量 $W=595\text{kN} \sim 737\text{kN}$

$$V_{OT} = 109\text{m/s} \sim 121\text{m/s}$$

徳島大学・野田稔
アスファルト路盤の剥離飛散からの推定風速もほぼ110m/s程度



田村幸雄, 松井正宏, 吉田昭仁, 桑田玲, 荒川尚美, 金井義雄, 柳澤泰男, 萩合小太郎

台風14号 Maemi (2003年9月11日, 12日)

■ 宮古島気象台

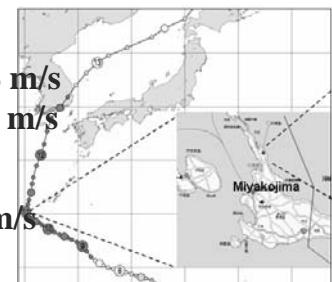
最大風速: 34.8 m/s
最大瞬間風速: 74.1 m/s

■ 宮古島自衛隊基地

最大瞬間風速: 87 m/s

■ 古河電工試験所

最大瞬間風速: 90 m/s以上
(Cao, Tamura et al., JWEIA, 97, 2009, 11-21)



米国のフジタスケール（Fスケール）と 改良フジタスケール（EFスケール）

McDonald, Mehta and TTU WISE (2006)

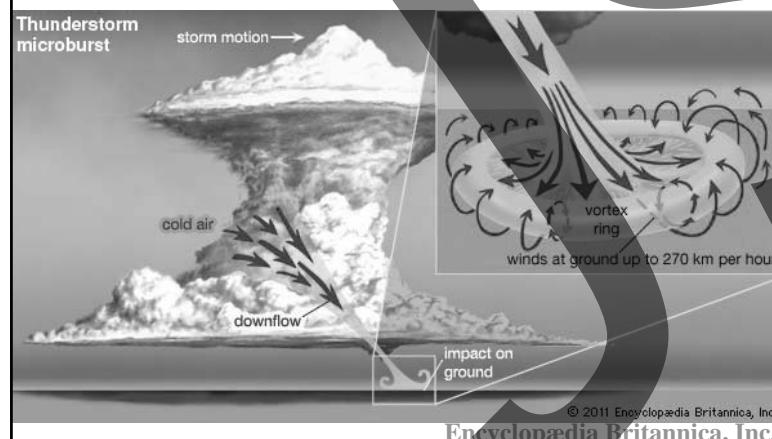
EF-Scale	EFスケール 3s 瞬間風速 (m/s)	F-Scale	Fスケール 3s 瞬間風速 (m/s)
EF0	29 – 38	F0	20 – 35
EF1	39 – 49	F1	36 – 52
EF2	50 – 60	F2	53 – 72
EF3	61 – 74	F3	73 – 93
EF4	等価水平風速	F4	94 – 117
EF5	90 – 90	F5	118 – 142

田村幸雄, 松井正宏, 吉田昭仁, 岡田 知, 荒川尚美, 金井義雄, 柳澤泰男, 岩合小太郎

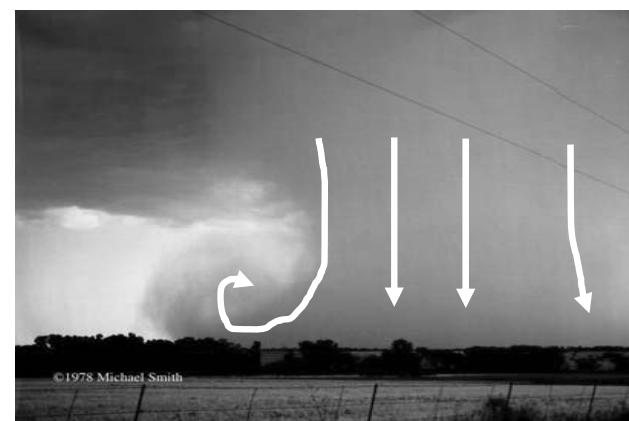
強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帯低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダストデビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

ダウンバースト/マイクロバースト



ダウンバースト/マイクロバースト



強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帯低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダストデビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

塵旋風(ダスト・デビル)

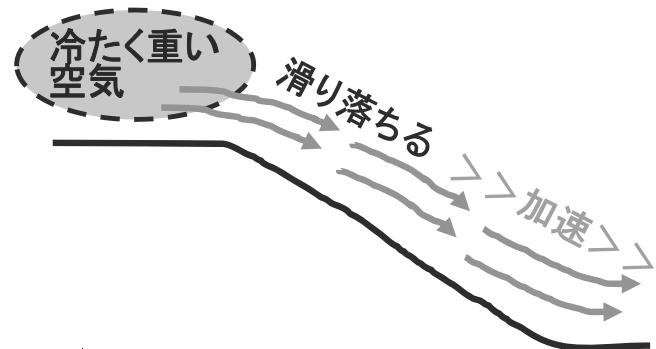


FNNスーパーニュース 列島映像スーパービジュアルより

強風の原因

- 热帯低気圧 (台風, ハリケーン, サイクロン)
- 季節風
- 温帯低気圧, 前線性低気圧
- たつ巻 (トルネード)
- 雷雨 (ダウンバースト, マイクロバースト)
- 旋風 (ダスト・デビル)
- 重力風 (だし風, おろし, カタバ風)

地形性の重力風 (おろし, だし)



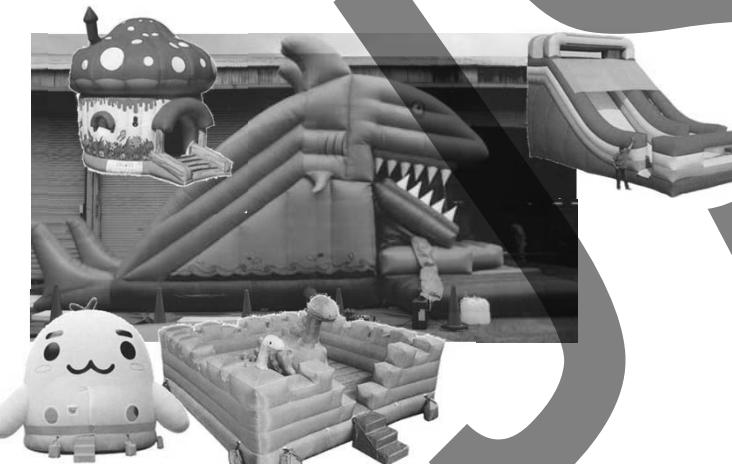
地形性の重力風 (おろし, だし)
南ア・ケープタウン



地形性の重力風 (おろし, だし)
南ア・ケープタウン



エア遊具



エア遊具



過去の日本での台風による風速記録

■ 最大風速(10分間平均風速)

1位 室戸岬(1965.9.10) 69.8m/s

2位 宮古島(1966.9.5) 60.8m/s

3位 石垣島(1977.7.31) 53.0m/s

■ 最大瞬間風速(概ね2, 3秒間平均風速)

1位 宮古島(1966.9.5) 85.3m/s

2位 室戸岬(1961.9.16) 84.5m/s*

3位 名瀬 (1970.8.13) 78.9m/s

風のちから F

$$F = \frac{1}{2} \rho V^2 C A = 0.6 V^2 C A$$

大人の人間(受圧面積A = 約0.5m²と仮定)

風速V = 10m/s → 風力F = 30N (3kg重)

風速V = 20m/s → 風力F = 120N (12kg重)

風速V = 50m/s → 風力F = 750N (75kg重)

風速V = 85.3m/s (第2宮古島台風, 1966.9.5)

→ 風力F = 2200N (220kg重)

(体重65kg重の3倍以上)

風のちから

■ 表面から働く圧力

→ 重くて剛い方が良い

(地震に対しては,
軽くて柔らかい方がよい)

被害の相関

軒先付近の高い局部負圧



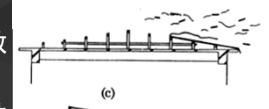
軒先付近の軽微な破損
屋根裏への風の吹き込み



屋根下地材の飛散

または

屋根全体の飛散



東北大学・植松康, 1992

飛散物による被害の連鎖



竜巻の場合は上昇気流の影響もあり、
飛散物の影響する範囲は拡大

延岡の竜巻(2006年9月17日)



飛散物の状況



飛散物の状況



飛散物



飛散物に対する耐力規定

- 海外では飛散物に対する外装仕上材の耐力規定有り
例: South Florida Building Code(米国)
Darwin Area Building Manual
(オーストラリア)
- 我が国では、飛散物に関する規定なし

飛散物に対する雨戸やシャッターの必要性



飛散物に対する雨戸やシャッターの必要性



米国でのハリケーン・シェルター



安全とは？

安全とは

■「安全」という用語の危険性

・響きが全体主義的な情緒性を持つ
“必要断面積とつていれば十分安全であるが、その3倍の断面積をとったから、3倍安全である・・・”

- 無限大が3倍になった？
- 絶対性をほのめかせる？

「安全」(新明解国語辞書、三省堂)

■身（組織体）に危険を、物に損傷・損害を受ける恐れが無い状態（様子）

- 恐れが無い状態
- 破壊確率や危険率がゼロの状態

「この建築物は、地震に対しても風に対しても安全に造られている。」と言えるか？「安全に晒されている。」と言えるか？

「危険」(新明解国語辞書、三省堂)

■個人にとって負傷・死を招くとか、災難・危害をもたらすとか、地域社会の人々にとって広義の人災が起こりそうな恐れがあること

→ 恐れがある状態

→ 破壊確率や危険率がゼロでない状態

「この建築物は、地震に対しても風にあっても危険に造られている。」とは言え言える。「危険に晒されている。」と

建築基準法(1950年制定)上の安全性

■1998年全面改訂、2000年6月施行

構造耐力

第20条 建築物は、自重、積載荷重、積雪、風圧、土圧及び水圧並びに地震その他の震動及び衝撃に対して安全な構造のものとして、次に定める基準に適合するものでなければならない。

一 建築物の安全上必要な構造方法に関する政令で定める技術的基準に適合すること。

二 (省略)

新明解国語辞書(三省堂)の教えるところ

■「危険に晒されている」とは言えるが、「安全に晒されている」とは言えない。工学の世界に「安全」はあり得ないが、有り難いことに「危険」はあり得る。

■ゲームや法令には「安全」があり得る。つまり、安全圏などという概念である。したがって、法令の「安全」の正体を見極めなければならない。

政令で定める技術的基準

構造方法に関する技術的基準

構造設計の原則

施行令第36条の2

建築物の設計にあっては、(中略)自重、積載荷重、積雪、風圧、土圧及び水圧並びに地震その他の震動及び衝撃に対して、一様に構造耐力上安全であるようにすべきものとする。

2 (省略)

3 建築物の構造耐力上主要な部分には、使用上の支障となる変形又は振動が生じないような剛性及び瞬間的破壊を生じないような韌性を持たすべきものとする。

建築基準法上の安全性

■構造計算法

(1) 許容応力度等計算

■短期許容応力度以下の確認

耐用年数中に何度か遭遇するような中程度の地震動に対しては、建築物にほとんど被害を生じさせない

■保有水平耐力の検討

極めて稀に遭遇する大地震動に対しては、ある程度の被害を許容するが、人命を損なうような損傷（崩壊）をもたらさない

(2) 限界耐力計算

建築基準法上の安全の正体は？

■建物には安全はあり得ない・・・

→ 危険はあり得るが・・・

設計者や施工者の安全 ←

← これは確かにあり得る！！

建築基準法を守って
確保されるもの！

建築基準法上の安全性

■基準法本文

安全： 壊れない、人命を損なわない

■法令上の手続き

設計図書の合法的整備

■社会的手続上の安全 ≠ 真の安全

→ 積極的に錯覚

設計者側も！

現行基準の荷重レベル

高さ60m以下の通常の建築物の許容応力度設計

■稀な地震、暴風等の外力（レベル1）

- 頻度が概ね50年に1度程度の事象

- 主要構造骨組：短期許容応力度以下（無被害）
(材料の降伏応力度)

- 外装材等： 脱落しない

■極めて稀な地震、暴風等の外力（レベル2）

- 頻度が概ね500年に1度程度の事象

(風荷重：レベル1の1.6倍)

- 主要構造骨組：崩壊しない

(風荷重：概ね短期許容応力度の1.1倍以下)

- 外装材等： 特に定めなし

旧基準と現行基準の風荷重レベル

(1950年制定) (2000年施行)

建物高さ $H = 10\text{m}$

■ 旧基準 $q = 60\sqrt{10} = 190 \text{ kgf/m}^2 = 1,860 \text{ N/m}^2$

■ 2000年施行・現行基準（損傷防止用速度圧）

地表面粗度区分III（殆どの場合）

・基準風速 $V_0 = 34\text{m/s}$ (東京都区内)

$q = 0.6 \times \{1.7(10/450)^{0.2}\}^2 \times 2.5 \times 34^2 = 1,093 \text{ N/m}^2$

・基準風速 $V_0 = 40\text{m/s}$ (高知県室戸市、鹿児島県枕崎市)

$q = 0.6 \times \{1.7(10/450)^{0.2}\}^2 \times 2.5 \times 40^2 = 1,512 \text{ N/m}^2$

地表面粗度区分II

・基準風速 $V_0 = 34\text{m/s}$ (東京都区内)

$q = 1,519 \text{ N/m}^2$

・基準風速 $V_0 = 40\text{m/s}$ (高知県室戸市、鹿児島県枕崎市)

$q = 2,100 \text{ N/m}^2$

建築物の構造的性能向上の必要性

■ 建築物=都市としての器

■ 収容物を保全する能力=構造的性能

→ 収容物の経済的価値や重要性
に見合うべき

■ 収容物の社会資本の価値

[基準法制定時(1950)] 小 << [現在] 大

→ 構造性能は本質的に変わっていない
(設計用風荷重はむしろ下がった!)

構造的性能の向上しない理由

■ 構造的性能向上のメリット

→ 個の建物のライフタイム中に実感できない
(数十年、数百年に1回)

→ 都市建物群は個のライフタイムを超えて継続
⇒ 国家的安全保障・都市防災(群としての器)

cf. 設計用地震力を2倍にしても建築費の
増加は数%

■ 設備機器の性能

(空調、照明、エレベータ等)

・ 戦後に較べると桁違いに向

→ 性能向上を日常的に実感できる

国家機能(行政改革会議、1997)

■ 基本的機能

・ 国民の安全 (対内的、対外的な安全保障、および健康被害の防止)

・ 国民の安心 (社会保障と雇用、一定の経済的繁栄)

・ 社会の安定 (政治や行政に対する信頼)

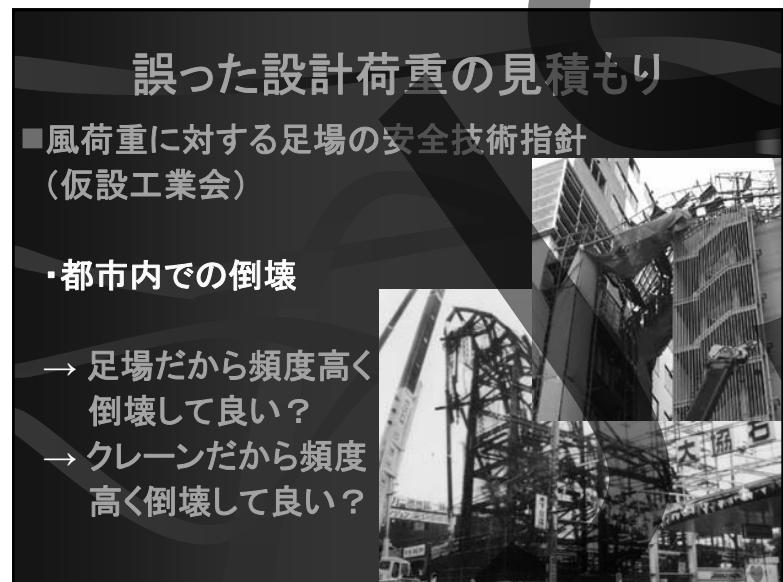
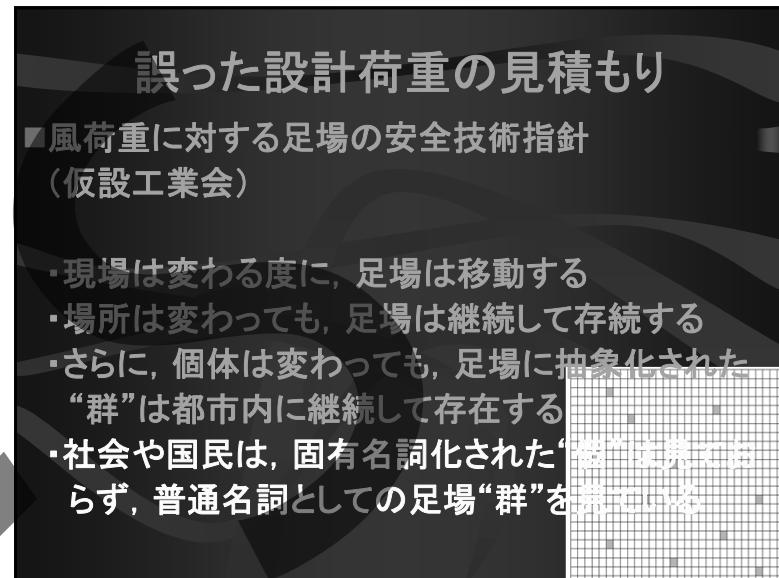
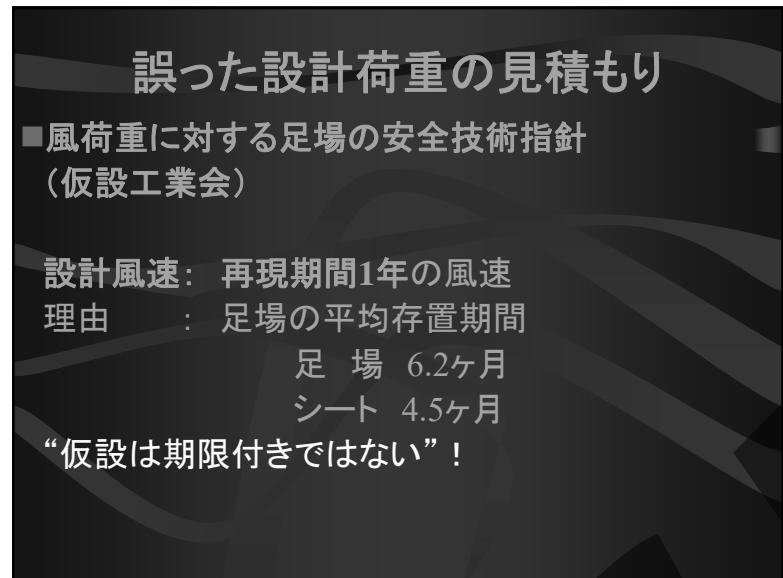
■ 社会の補完機能

・ 社会福祉、社会保障、労働者保護等や教育の機能

・ 知的・経済的な「創造」「生産」を行う機能

(学問、科学技術、文化活動、物資供給、インフラ整備)

→ 社会の自律的な活動の条件整備



佐呂間の竜巻(2006年11月7日)

9名の死者を出した仮設作業所



(2006年11月7日)

誤った設計荷重の見積もり

■外装材にも同様の誤解がある

- ・短期間で取り替えるから短い再現期間で良い?
 - 取り替えで屋根葺材やガラス窓が無くなるわけではない → 繼続して存在する
(単なるメンテナンス行為)
- ・法令でも、極めて稀な暴風(再現期間500年に相当)について、外装材設計を義務づけていない
 - 外装材が無くなると、骨組み設計時に想定している空力的特性や構造特性すら変わる
 - 骨組みが存在する限り、外装材も存在しなければならない

誤った設計荷重の見積もり

■個の、かつ特定の任務の存続期間

→ 荷重の見積もりとは無関係

■抽象化された群としての対象が、単純にどのくらいの頻度で故障や被害を起こして良いか、如何なる社会的不都合が生じるか

レンタカー:

平均貸出期間で性能や強度は決まらない



誤った設計荷重の見積もり

■外装材も建物を構成する重要な要素

航空機の窓パネルやボルト:

- ・頻繁に取り替えるからと言って、本体パネルより弱くできるか?

- 素材そのものの軽微さ、取り替え頻度、値段的価値は、構成要素としての重要性とは、本質的に無関係
- それらの破損は、大事故に繋がる
- 本体と同じレベルの耐力が要求される

外装材の設計風荷重のレベル

- ・破損によって空力的特性や構造的特性が変わる
- ・その破損が本体の破損に繋がる

部材の軽微さや金銭的価値

≠ 構成要素としての重要性

→ 外装材であっても構造骨組みと同じ安全性のレベルを確保すべき

外装材設計の問題点

■ 現行基準

- ・施行令第82条の5（屋根ふき材等の構造計算）、告示1458号（ガラスの許容耐力、壁面、屋根面の風圧力算定式）
- ・高さ13m以下を適用除外
←物理的な妥当性は？
→外装材設計は、飛散物や側面等の負圧の分布を考慮すると、むしろ下ほど重要
- ・極めて稀に発生する強風に対して外装材の設計を義務づけていない
→あまりにも当然なので義務づけていないと解釈すべき

誤った設計荷重の見積もり

■ 外装材も建物を構成する重要な要素

→原則的には、骨組みと同じ設計用再現期間とすべき

- ・強風時にシートを撤去するなどの養生
→ 風力係数や受圧面積の減少
- ・骨組み本体に被害が及ばないことが明らか
→ それらが保証される範囲で荷重を設定
→ 短い再現期間で良いということではない

国の決める最低基準の意義

■なぜ最低基準が必要なのか

- 最低基準を決める規範は？
- どの程度、国民の生命財産の保全を図るべきか
- 国家安全保障の観点
　国家機能の維持
　都市機能の維持
- 建築物の大半が私有物であるが、都市などの組織物の細胞の一部である
- 個ではなく群として捉えるべきである
- よどみに浮かぶうたかた？

方丈記(鴨長明, 1212) 序

行く川の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。よどみに浮ぶうたかたは、かつ消えかつ結びて、久しく止まる事なし。世の中にある人と住家と、またかくの如し。玉敷の都の中に、棟を並べ臺を争へる、尊き卑しき人の住居は、代々を経て盡きせぬものなれど、これをまことかと尋ねれば、昔ありし家は稀なり。或は去年破れて今年は造り、あるは大家滅びて小家となる。住む人もこれにおなじ。處もかはらず、人も多かれど、いにしへ見し人は、二三十人が中に、僅に一人二人なり。朝に死し、夕に生るゝならひ、たゞ水の泡にぞ似たりける。知らず、生れ死ぬる人、何方より來りて、何方へかかる。また知らず、假の宿り、誰がために心をなやまし、何によりてか目を悦ばしむる。その主人と住家と、無常を争ひ去るさま、いはば朝顔の露に異ならず。或は露落ちて花残れり。殘るといへども朝日に枯れぬ。或は花は萎みて露なほ消えず。消えずといへどもゆふべを待つことなし。

方丈記の教えるところ

- 収容物の富に見合った、器を！
災害時に失うものはあまりにも大きい
- 規制緩和しか許されない法令改正に意味があるか？

方丈記の教えるところ

- 都市の建物を個として見るのではなく、抽象的な群として見ることの重要性
- 都市や社会を形成する細胞の一つとして見る
- 国の決める最低基準は、個の存続期間でなく、都市や国家の基本的機能の保持や安全保障の観点に立って決めるべき
- 私有物であるからといって、個人の保険や良心に期待してレベルを維持するのは無理
→ その維持は法令によってのみ可能
 - ・基準法は技術マニュアルではない

余部の鉄橋事故(1986年12月28日)

- 回送中列車 7両が強風で脱線転落
- 峡谷下缶詰工場従業員を含む6人死亡
- 風速25m/s以上で列車を止める規定
- 警報装置が作動していた
- 現場担当者の刑事責任が確定しかし・・・
- 従来からこの規定は遵守されていない
- 事故はなかった

余部の鉄橋事故(1986年12月28日)

■前例に反して列車を止めたら・・・

- ・ダイヤの混乱による利用者の不利益
- ・経済的損失による鉄道側の不利益

→上司、同僚からの非難

■ジレンマ

“もし止めなかつたら大惨事が起きる”
ということは誰にも証明できない

⇒ 現場担当者のミスではすまされない

余部の鉄橋事故の教えるもの

■安全側の運行規定

- ・規定作成者のエクスキューズにはなる
- ・頻度が高ければ現場担当者は遵守できない

■適切で現実的な規定

- ・管理風速と列車を止める頻度の関係
- ・止めなかつた場合の事故の発生確率
- ・止めた場合の社会的、経済的損失や波及効果
- ・科学的資料に基づく十分な議論

事故の繰り返し

ほとんど決まって

- ・2度と再びこのような事故・災害を繰り返すな
- ・責任は、関係者のミス、怠慢、判断の甘さにあり

とされる。しかし....

- ・ほとんど決まってこのような事故・災害は繰り返され

- ・責任は関係者のミス、怠慢、判断の甘さに断定される

どう思います? 災害時の新聞の論調

道路や構造物などは本来安全に作られるべきであって、防災は完璧にすべきである。費用がない、人手が足りない、従来の技術では難しいというような理由で、手を抜いていいものではない。事故が起こってからでは、貴重な人命はよみがえらないのである。

人間活動

- 有限な費用
- 有限な人手
- 有限な時間
- 有限な知識

で 最善を尽くす

- ・絶対安全なものなど無い
- ・必ずリスクが存在する

人命と安全性

■ 人命を絡めた安全性の議論

- ・十分な注意が必要

■ 人命（+社会）

- ・エキセントリックな感情論が支配
- ・人命が切り札的に使われる
- ・あらゆる科学的議論を凌駕

→ 担当者に責任を押しつけて問題の解決と錯覚！
涙、謝罪、どげざ

人命とは？

アメリカ(1969年)の事故・災害死者数

自動車事故	55,790人	航空機	1,780人
転落事故	17,830	落下物	1,270
火災焼死	7,450	感電死	1,150
溺死	6,180	鉄道	880
毒物	4,520	かみなり	160
銃火器	2,310	竜巻	90
機械	2,050	ハリケーン	90
船舶事故	1,740	その他	8,700
		合計	112,000人

人命とは？

■ 平成24年中の日本の交通事故死者：

4,411人 (12年連続減少)

= ジャンボ旅客機9機

= 4ヶ月に3機の割合で墜落

→ 每年数千人の貴重な人命と引き替えに日常生活の利便性が成り立っている

産業災害と人命 (ハインリッヒの法則)

死/重傷 : 軽傷 : 無傷

= 1 : 30 : 300

- 大事故は多数のミスの連鎖によって起きる
- 小さな事故を1つ1つつぶさないと大事故も防げない

防 災

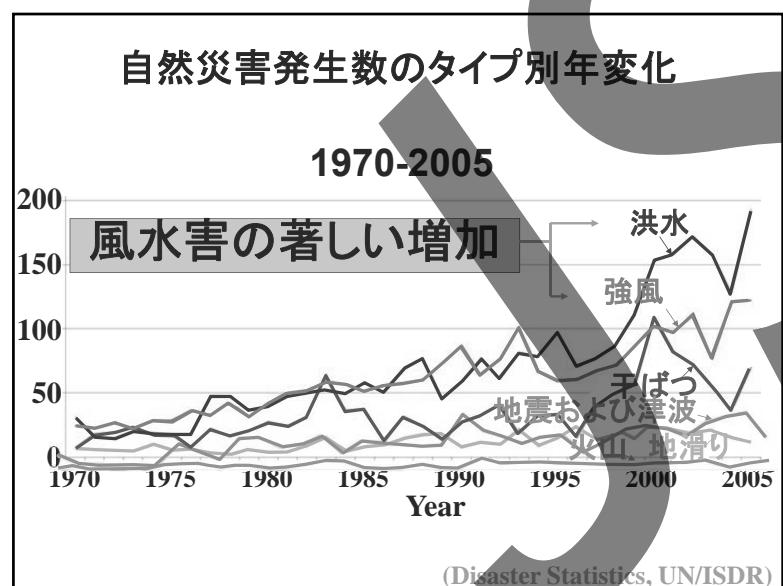
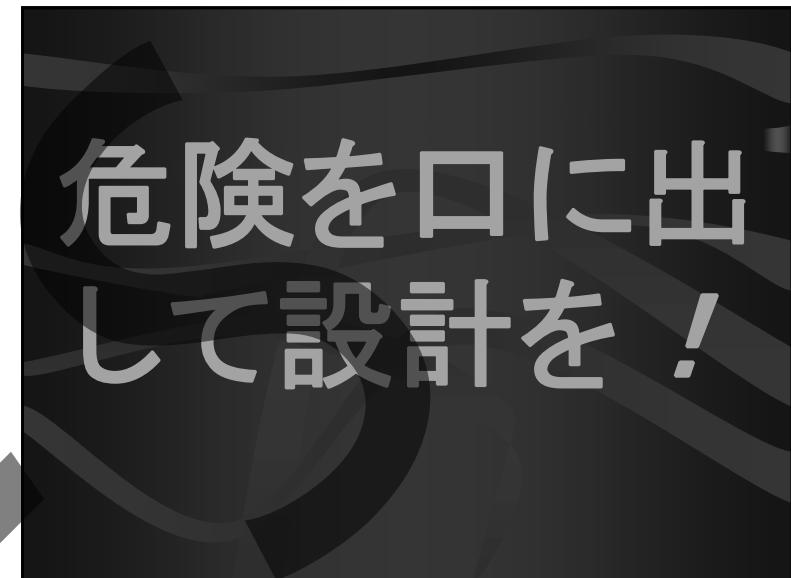
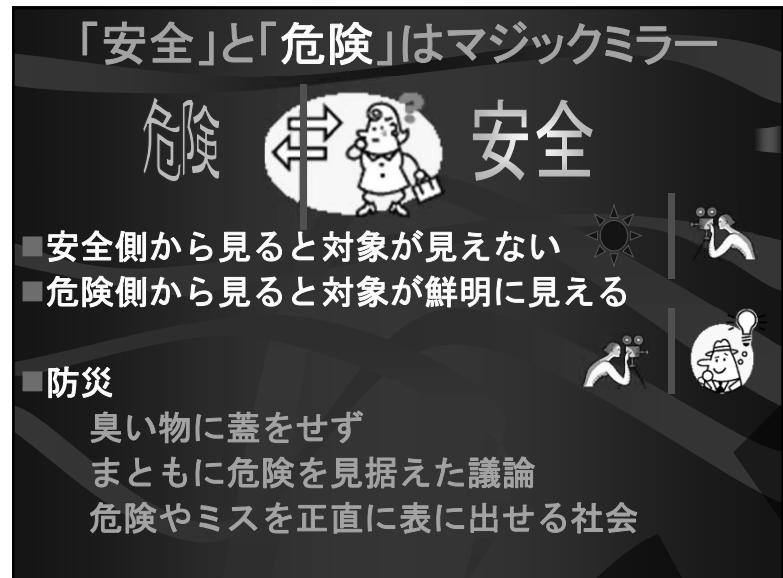
- ・社会的メリットの質と量は？
 - ・起きうる事故のシナリオは？
 - ・事故の危険率は？
 - ・防災の対策は？
 - ・事故や災害が起きたときの波及効果は？
 - ・災害は社会的に容認できるか？
 - ・別法の持つ効用と危険率との比較は？
-
- ・裏付けのある科学的資料に基づく議論
 - ・包み隠さず防災の議論のできる社会的環境や雰囲気→危険性を口に出せる社会

危険を見据えた防災の議論

- 絶対に事故を起こしてはいけないなら：
 - ・ジャンボ機も
 - ・車も
 - ・超高層建築物も作れない。
- 絶対安全なものなど有り得ない
→正面から危険率を見すえて対策を議論

危険を見据えた防災の議論

- 危険を口に出しては仕事ができない
- 安全率 = (1 - 危険率)
∴どちらを使っても同じという理屈
→ ごまかし、臭いものに蓋
- 防災科学的に未成熟な社会
→ 真の議論のチャンスを技術者が放棄してはならない



自然災害による経済的損失



まとめ —強風防災のために—

- 同じことの繰り返し
- Knowing but not acting!*
- 実行すること、履行すること

ご清聴、有り難うございました！



Adam Goliger (CSIR) 提供